

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
ENTE NAZIONALE AVIAZIONE CIVILE



AEROPORTO "MARCO POLO" DI TESSERA - VENEZIA

Concessionaria del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



COMMESSA

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DEL BACINO CATTAL

ELABORATO

RELAZIONE GENERALE

COMMESSA: CO774 COD. C.d.P.: . . .

CODICE ELABORATO

01.01 - 00

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE	NOME FILE:
0	31/03/2015	Emissione	D.T.	V.B.	G.B.	
						SCALA:

PROGETTISTA



SAVE ENGINEERING S.r.l.
Sede Legale: V.le G. Galilei, 30/1 - 30173 Venezia - Tessera (Italia)
Uffici: Via A. Ca' Da Mosto, 12/3 - 30173
telefono: +39/041 260 6191
telefax: +39/041 2606199
e-mail: saveeng@veniceairport.it



COMMITTENTE

SAVE S.p.A.
DIREZIONE OPERATIVA
R.U.P./R.L.

ing. Corrado Fischer

SAVE S.p.A.
POST HOLDER
PROGETTAZIONE

ing. Franco Dal Pos

SAVE S.p.A.
QUALITÀ AMBIENTE
E SICUREZZA

ing. Davide Bassano

SAVE S.p.A.
POST HOLDER
MANUTENZIONE

ing. Virginio Stramazzone

SAVE S.p.A.
SAFETY MANAGER

sig. Adriano Andreon

SAVE S.p.A.
POST HOLDER
AREA MOVIMENTO-TERMINAL

sig. Francesco Rocchetto

PROGETTAZIONE SPECIALISTICA STRUTTURALE E IDRAULICA: R.T.P. Nordest Ingegneria S.r.l. - G&V Ingegneri Associati

prof. ing. Vincenzo Bixio



Via Paolo da Sarmeola 1/A
35030 Rubano (PD)
tel. 049 8975709 - fax 049 630270



G&V INGEGNERI ASSOCIATI
via Galileo Ferraris 14/A
30175 Marghera (VE)
tel. 041 5060842 - fax 041 5069373

ing. Alberto Giovannini



INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO DELL'AREA AEROPORTUALE.....	7
2.1	Le vie di deflusso dell'area aeroportuale	7
2.2	Il bacino di bonifica Cattal	8
3	INDAGINI GEOMETRICHE ED IDROLOGICHE	17
3.1	Dati geometrici: il DTM e il rilievo planoaltimetrico di campagna.....	17
3.2	Dati idrologici.....	20
3.2.1	Le precipitazioni di progetto: curve segnalatrici di possibilità pluviometrica del Commissario Delegato per l'Emergenza	20
3.2.2	Ietogrammi di progetto: lo ietogramma Chicago.....	22
3.3	La definizione dei sottobacini idrografici	23
4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO IN HEC-HMS.....	25
4.1	Il software HEC-GeoHMS	25
4.2	Il software HEC-HMS	25
4.2.1	I modelli di trasformazione afflussi-deflussi	25
4.2.2	Il trasporto lungo la rete canalizzata	36
5	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO IN HEC-RAS.....	39
5.1	Il software HEC-RAS.....	39
5.1.1	Calcolo dei profili a moto permanente	40
5.1.2	Calcolo dei profili a moto vario.....	41
5.2	Importazione della geometria del sistema	42
5.2.1	Corsi d'acqua rappresentati	42
5.2.2	Inserimento ed elaborazione delle sezioni idrauliche	43
5.2.3	I manufatti idraulici	46
5.3	Definizione delle condizioni al contorno e delle condizioni iniziali	48
5.3.1	Condizioni al contorno	49
5.3.2	Condizioni iniziali di moto	50
6	LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO	51
6.1	Il sedime aeroportuale: stato attuale e sviluppi in corso	51
6.2	La calibrazione del modello idrologico-idraulico	56
6.2.1	L'attribuzione del CN ai sottobacini	59
6.2.2	Risultati della calibrazione	66
7	L'ANALISI DEGLI SCENARI FUTURI.....	87
7.1	Scenario 1: Configurazione al 2016.....	87
7.1.1	Gli interventi implementati nello Scenario 1	88

7.1.2	Il modello idrologico nello Scenario 1: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2016	95
7.1.3	Il modello idraulico nello Scenario 1: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2016	101
7.2	Scenario 2: Configurazione al 2018.....	105
7.2.1	Gli interventi implementati nello Scenario 2	108
7.2.2	Il modello idrologico-idraulico nello Scenario 2: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2018	111
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	128

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro, affidato a NORDEST Ingegneria S.r.l. e G&V Associati da SAVE Engineering S.r.l. rappresenta solo una parte di un più ampio incarico riguardante l'attività di consulenza per la verifica e il dimensionamento di strutture idrauliche per l'allontanamento delle acque meteoriche ovvero per l'analisi degli effetti che le stesse hanno nei confronti dall'intero bacino Cattal. L'obiettivo dell'incarico è quello di dar seguito agli interventi pianificati in sede di Masterplan Idraulico verificandone, attraverso lo studio di cui alla presente relazione, la compatibilità rispetto al più ampio contesto rappresentato dal bacino Cattal sul quale il sedime aeroportuale ricade per intero.

L'attività fondamentale è stata quella di realizzare un modello idrologico-idraulico dell'intero bacino Cattal al fine di poter disporre di un utile strumento in grado, di volta in volta opportunamente aggiornato, di interpretare a scala di bacino gli effetti di ciascun intervento in fase di programmazione o di progettazione. Il modello idrologico-idraulico rappresenta così non soltanto uno strumento utile per le attività di progettazione in corso, bensì anche un mezzo fondamentale per gli sviluppi futuri, in grado di verificare gli effetti sotto il profilo idraulico di qualsivoglia proposta pianificatoria. In particolare l'efficacia predittiva del modello idrologico del bacino consentirà di verificare quali siano gli effetti d'incremento della pioggia efficace che si generano in conseguenza ad un intervento di urbanizzazione che modifichi lo stato di impermeabilità dei suoli. Il modello idraulico permetterà invece di verificare non soltanto gli effetti generati da una eventuale modifica della rete idraulica in senso stretto, ma anche di interpretare la reale efficacia a scala di bacino di qualsiasi volume d'invaso creato localmente per il rispetto dell'invarianza del singolo intervento.

Gli obiettivi principali del presente studio sono stati sostanzialmente due:

- verificare la compatibilità rispetto all'intero sistema del bacino Cattal degli interventi previsti in sede di Master Plan che direttamente, modificando il sistema di collettamento, o indirettamente, modificando lo stato di permeabilità dei suoli, influenzano la risposta idrologico-idraulica;
- verificare che gli interventi infrastrutturali sulla rete di collettamento previsti nel Master Plan Idraulico consentano il miglioramento della sicurezza idraulica del bacino aeroportuale.

Nell'ottica di una coerenza tra i diversi scenari proposti in sede di MPI con quelli analizzati attraverso modellazione idrologico-idraulica, si riporta la sottostante Tabella 1.1.

Tabella 1.1. Confronto tra i scenari di modello e quelli previsti in sede di Master Plan Idraulico.

SCENARIO DI MODELLO	SCENARIO DI MPI	INTERVENTI INFRASTRUTTURALI	INTERVENTI IDRAULICI
Taratura modello	Stato di fatto	Stato di fatto	Stato di fatto
Scenario 2016	2016 (Agg. MPI)	2.33-DHL nuovo cargo building 2.20-Campo prove VVF 2.09-Riprotezione VVF e GdF 4.06-Ampliamento piazzale fase 1 2.09-Riprotezione VVF e GdF 3.01-Percorso pedonale in quota e nuova darsena 1.01-Terminal passeggeri lotto 1 6.18-Nuova centrale trigenerazione 3.43-Parcheggio moving walkway 3.42-Ampliamento parcheggio P4 3.41-Parcheggio P6 2.19-Riprotezione UPS e Dogana 4.14-Potenziamento piste di volo	- 6.03-Doppia canna - MP03-Scatolare Pagliagheta - MP04-Deviazione Pagliagheta - MP05-Scolmatore Pagliagheta fase 1
Scenario 2018	2016 (Agg. MPI)	<i>idem</i>	<i>idem</i> + - MP01-Area espansione - MP02-fase1 ricalibratura

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO DELL'AREA AEROPORTUALE

2.1 Le vie di deflusso dell'area aeroportuale

L'area dell'aeroporto Marco Polo di Tessera si estende su una superficie di circa 300 ha sul margine occidentale della Laguna di Venezia. Essa è posizionata al confine tra l'area lagunare propriamente detta ed una zona agricola, drenata dalla bonifica. Le superfici ora adibite ad aeroporto erano infatti in parte barene e in parte poderi agricoli.

Di tale sistemazione originale rimane traccia nella suddivisione tra aree che recapitano direttamente in laguna ed aree che scolano nella rete di bonifica.

A titolo descrittivo, il margine tra le due zone ha origine presso la darsena-terminal a sud-ovest dell'aeroporto, divide il vicino piazzale aeromobili, raggiunge la pista di decollo e atterraggio e la percorre in mezzeria fino all'ultimo collegamento a nord-ovest con la taxiway; da qui raggiunge il ramo morto nord del canale Osellino.

Pertanto scolano in laguna le estremità della pista e, nella parte centrale, il lato sud-est, mentre gran parte delle taxiway e dei piazzali, tutta l'area dell'aerostazione, i parcheggi automobilistici, le aree a servizi trovano recapito in bonifica. L'area con scarico in laguna ha una superficie di circa 120 ha¹, mentre trova recapito in bonifica un'area di circa 190 ha.

Tale area afferisce al collettore di bonifica Pagliaghetta, il cui bacino di 230 ha, sito interamente a sud est della SR 14 "Triestina", comprende anche aree agricole a margine del Canale Scolmatore del Marzenego ed una parte delle Officine Aeronavali.

Il canale Pagliaghetta prima della realizzazione dell'aeroporto era interessato da portate assai ridotte, raramente superiori a qualche centinaio di litri al secondo, e conseguentemente ha una sezione originaria assai ridotta, con larghezza di fondo di poco superiore al metro. Lo sviluppo del bacino ha portato a una sua cronica insufficienza e comporta tuttora gravi situazioni di crisi nell'area aeroportuale e nel sistema della bonifica.

Per un completo inquadramento della funzionalità del collettore Pagliaghetta, nel seguente paragrafo è descritto il bacino di bonifica Cattal, di cui il Pagliaghetta fa parte.

¹ Il dato è condizionato dal fatto di considerare o meno pertinenze in aree di barena

2.2 Il bacino di bonifica Cattal

Il bacino di bonifica Cattal occupa la porzione di territorio compresa tra il fiume Dese e il canale Scolmatore del Marzenego (ex canale Bazzera). Si tratta di una fascia di terreno della lunghezza di circa 10 km e di larghezza variabile da qualche centinaio di metri a quasi 4 km. I terreni hanno giacitura digradante da ovest verso est, per cui all'estremità occidentale è spesso possibile drenare i terreni a gravità, senza bisogno di sollevamento meccanico mediante idrovora, mentre i terreni nella porzione orientale sono posti al di sotto del livello medio della laguna e richiedono quindi il pompaggio.

Il bacino pertanto è suddiviso in tre comparti (Figura 2.1), denominati rispettivamente Acque Alte, Acque Medie e Acque Basse, a loro volta frazionabili in sottobacini:

- **comparto Acque Alte Cattal (307 ha):**
 - sottobacino Ca'Solaro (59 ha), compreso tra la tangenziale di Mestre (ex casello dismesso), la ferrovia Trieste - Venezia e l'area del nuovo Bosco di Mestre. E' una superficie per lo più agricola che di norma scarica le proprie acque nel canale Scolmatore, ma che in piena può alimentare il collettore Acque Alte Cattal. Il sottobacino è stato oggetto di riordino e modifiche nel recente passato: nel Piano Generale di Bonifica del Consorzio Dese Sile e nel Master Plan Aeroportuale, infatti, esso si estendeva a monte tra il fiume Dese e via Eridesio per circa ulteriori 26 ha;
 - sottobacino Collettore Acque Alte Cattal (248 ha), compreso approssimativamente tra l'area del forte Cosenz e via Ca'Colombara. E' attraversato da via Altinia e comprende la porzione sud occidentale dell'abitato di Dese. Esiste un collegamento tra il collettore Acque Alte e il fiume Dese, che in condizioni particolarmente favorevoli consentirebbe lo scarico a gravità dei deflussi in Dese. Con maggiore frequenza tale collegamento è utilizzato con flusso inverso per alimentazione irrigua del bacino Cattal. Di norma pertanto i deflussi del sottobacino proseguono nel collettore Acque Medie Cattal;
- **comparto Acque Medie Cattal (822 ha):**
 - sottobacino Collettore Acque Medie Cattal (467 ha), che da via Ca'Colombara si estende verso est, tenendosi a sud ovest di via Litomarino, e che comprende il forte Bazzera. Raggiunta la SR 14, il bacino occupa una stretta fascia di terreno prossima alla strada fino a Ca'Noghera. Dalle Officine Aeronavali verso est fanno parte del

bacino anche i terreni compresi tra la SR 14 e il ramo nord del canale Osellino. Il sottobacino ha carattere agricolo nella parte di monte, mentre risulta alquanto urbanizzato nell'area latistante la Triestina. A nord di via Paliaga a Ca'Noghera il collettore Acque Medie Cattal prosegue verso nord, fino a raggiungere l'idrovora Cattal sulle rive del Dese;

- sottobacino Pagliagheta (230 ha), che racchiude parte dell'area aeroportuale ed altre superfici a sud della SR 14. Il collettore Pagliagheta ha origine da una presa irrigua sul canale Scolmatore, attraversa l'area dell'aerostazione e sottopassa la SR 14 all'altezza del parcheggio Brusutti (via Ca'Rugger), raggiungendo in breve il collettore Acque Medie;
 - sottobacino Altinate (125 ha), eminentemente agricolo, posto tra il canale Osellino e il tratto terminale del fiume Dese, a cavallo della SR 14.
- **comparto Acque Basse Cattal (766 ha):**
- sottobacino Collettore Canaletta Irrigua (121 ha), attraversato dalla bretella autostradale per l'aeroporto;
 - sottobacino Collettore Fornasotti (111 ha), tra via Ponte Alto e il fiume Dese;
 - sottobacino Collettore Acque Basse Cattal (174 ha), relativo all'area tra Ca'Noghera e l'idrovora Cattal;
 - sottobacino Collettore Cattal (227 ha), che da via Litomarinò fino a via Ponte Alto occupa la parte centrale e più depressa del bacino;
 - sottobacino Collettore Pagliaga (133 ha), sito a est dell'idrovora Cattal, nell'ansa del fiume Dese, e collegato alla restante porzione del comparto mediante una botte a sifone.

All'idrovora Cattal arrivano dunque due canali, uno relativo alle Acque Alte e Medie e uno relativo alle Acque Basse. I canali hanno livelli idrometrici significativamente differenti e per tale motivo, salvo emergenze, gli apporti dei differenti sottobacini vengono tenuti distinti, richiedendosi una minore prevalenza per sollevare i deflussi del bacino delle Acque Medie.

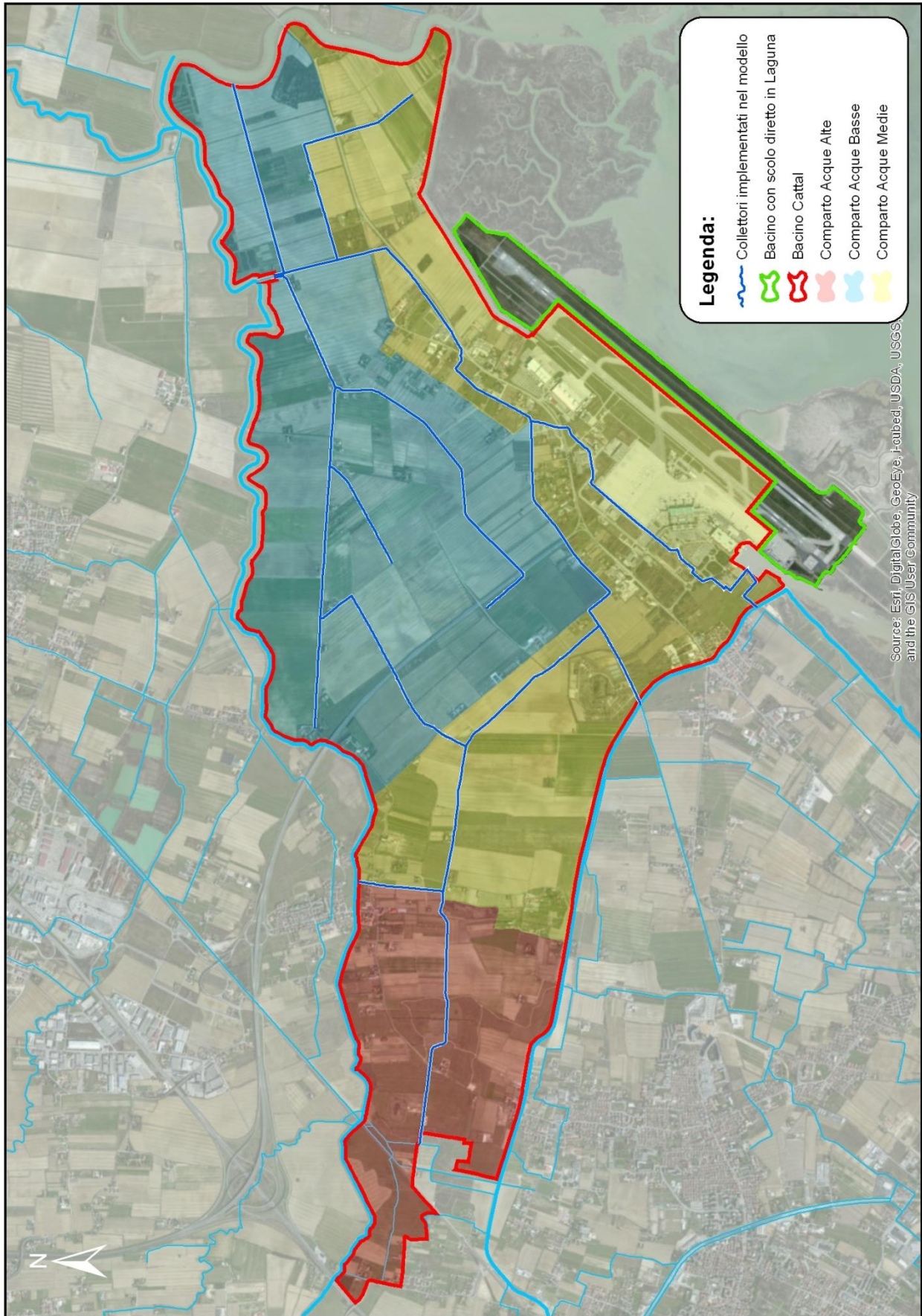


Figura 2.1. Comparti e sottobacini del bacino Cattal.

L'idrovora Cattal, costruita negli anni'20, è dotata di sei gruppi pompa così ripartiti:

Tabella 2.1. Gruppi pompa dell'idrovora Cattal.

Comparto	Pompa n.	Portata nominale [m ³ /s]	Prevalenza nominale [m]
Acque Basse (766 ha)	1	3.300	2.95
	2	1.300	3.00
	4	1.300	3.00
	6	1.020	3.30
Acque Alte e Medie (1129 ha)	3	1.500	2.80
	5	1.500	2.80

Pertanto, pur tenendo presente che le portate sollevate possono variare anche sensibilmente in caso di alta marea, si può affermare che l'idrovora è in grado di allontanare 6.92 m³/s dal canale delle Acque Basse e 3.00 m³/s dal canale delle Acque Medie. I livelli minimi di lavoro delle pompe sono di 8.00 m per le acque medie e 7.00 m per le acque basse².

² I livelli sono riferiti alla quota -10.00 s.m.m. come è uso nella bonifica per evitare quote negative. Vale la pena ricordare anche che il livello medio del mare di riferimento della rete altimetrica nazionale non corrisponde con lo zero del mareografo di Punta della Salute, di cui si differenzia di 23 cm. Pertanto il livello di alta marea misurato a Punta della Salute nel 1966, pari a +194 cm, corrisponde a un valore di 1.71 m s.m.m. e a una quota di 11.71 m nel sistema della bonifica.



Figura 2.2. Vista da monte dell'idrovora Cattal. A sinistra il mandracchio del comparto delle acque basse, mentre il collettore delle acque medie raggiunge l'idrovora dietro al muro in primo piano.



Figura 2.3. Vista da monte del collettore delle Acque Medie Cattal, in direzione dell'idrovora.

Analizzando nel dettaglio il valore delle portate che l'impianto idrovoro è in grado di smaltire emerge con grande evidenza il fatto che per il comparto delle Acque Basse l'idrovora è in grado di sollevare una portata specifica (o coefficiente udometrico) di 9.03 l/s ha, di gran lunga superiore a quello delle acque Medie, pari a 2.66 l/s ha.

Studiando la configurazione della rete si riscontra come in realtà le valutazioni circa le portate specifiche siano solo un'approssimazione del reale funzionamento del sistema e questo in conseguenza al fatto che lungo il collettore Acque Medie Cattal vi è la presenza di un manufatto partitore (Figura 2.4) in grado di far defluire, attraverso il collettore denominato Canaletta Irrigua, parte delle portate provenienti da monte (sottobacino Acque alte e parte del sottobacino Acque Basse) verso il comparto Acque Basse e quindi verso l'idrovora Cattal settore acque basse. Inoltre va sottolineato come in caso di grande piena, è prevista l'apertura della paratoia di collegamento (Figura 2.5), con la quale il mandracchio delle acque medie e quello delle acque basse sono messi in comunicazione. Parte delle portate provenienti dalle Acque Medie sono convogliate verso i gruppi pompa delle Acque Basse.

In base alle considerazioni proposte quello che si può dire in sintesi è che l'intero impianto lavora con un coefficiente udometrico medio sull'intero bacino Cattal di 5.23 l/s ha e che l'insieme delle opere idrauliche disposte lungo la rete di bonifica consentono, opportunamente

manovrate, di sfruttare la limitata capacità dell'idrovora per tutelare maggiormente un comparto piuttosto che un altro.



Figura 2.4. Manufatto partitore di portata posto lungo il collettore Acque Medie Cattal.



Figura 2.5. Vista della paratoia di collegamento delle Acque Medie Cattal con le Acque Basse Cattal in corrispondenza dell'idrovora Cattal.

I valori di coefficiente udometrico riportati sono caratteristici di aree agricole, quale era il bacino Cattal prima della costruzione dell'aeroporto. Lo sviluppo infrastrutturale seguente, per altro concentrato nel bacino delle Acque Medie, ha comportato l'insufficienza odierna dell'idrovora e la necessità degli interventi previsti nel Master Plan Idraulico.

3 INDAGINI GEOMETRICHE ED IDROLOGICHE

3.1 Dati geometrici: il DTM e il rilievo planoaltimetrico di campagna

Ai fini della caratterizzazione geometrica dei collettori e dei manufatti idraulici presenti in modo copioso lungo la rete di scolo si sono utilizzate due fonti principali:

- DTM (Digital Terrain Model) ottenuto attraverso la tecnica del LIDAR³ (Light Detection and Ranging) (Figura 3.1);
- Rilievo planoaltimetrico di campagna.

Il rilievo ha interessato tutta la rete di collettori ricadenti all'interno del bacino Cattal, caratterizzati nel complesso da una lunghezza di poco inferiore ai 25,0 km (Tabella 3.1).

Tabella 3.1. Lunghezza dei collettori del bacino Cattal.

COLLETORE	LUNGHEZZA [m]
ACQUE ALTE CATTAL	1'971
ACQUE BASSE CATTAL	1'567
ACQUE MEDIE CATTAL	6'895
CANALETTA CATTAL	860
CANALETTA IRRIGUA	1'744
CATTAL	2'511
ALTINATE	1'789
CONGIUNZIONE CATTAL DESE	627
FORNASOTTI	1'942
PAGLIAGA	1'448
PAGLIAGHETTA	2'748
TREGO DI LEVANTE	663
TOTALE	24'765

In totale si sono rilevate 198 sezioni e 58 manufatti tra ponti, paratoie e tombotti, per complessivi 2'734 punti di rilievo (Figura 3.2).

³ Il LIDAR è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad un'elevata risoluzione.

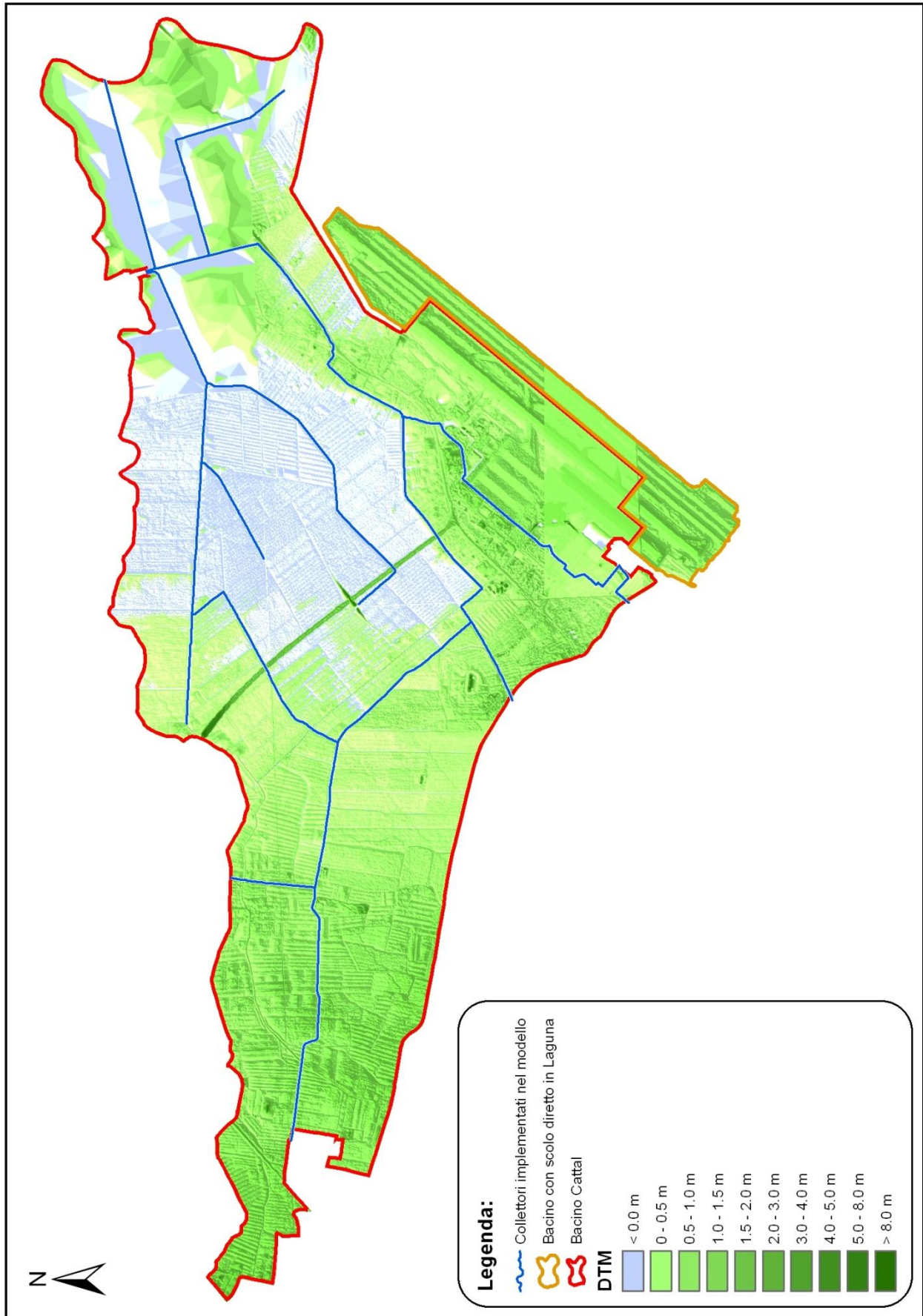


Figura 3.1. Manufatto partitore di portata posto lungo il collettore Acque Medie Cattal.

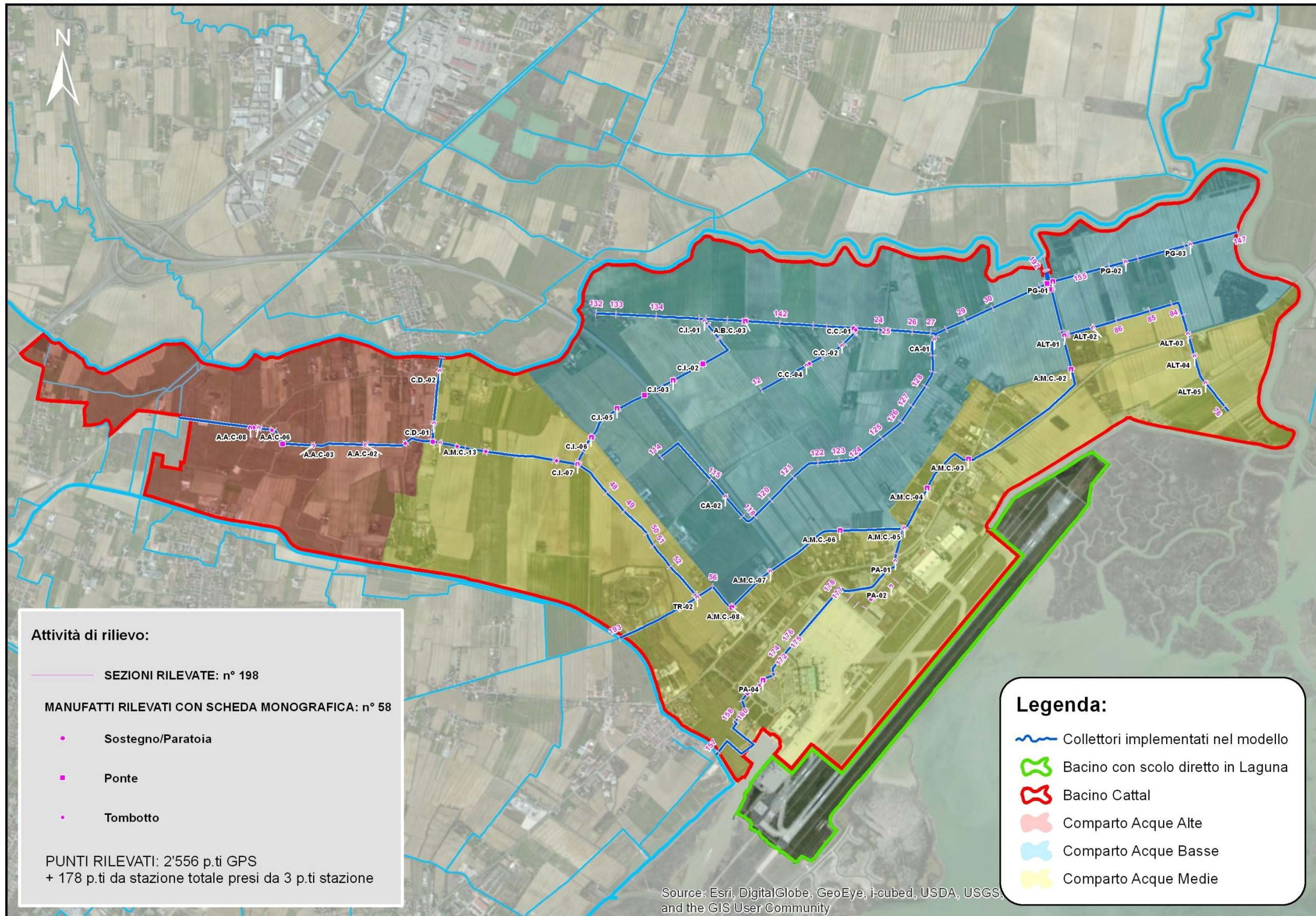


Figura 3.2. Manufatti e sezioni rilevate.

Fatta eccezione per i manufatti idraulici, per i quali il rilievo di campagna rappresenta l'unica fonte per una caratterizzazione geometrica, la descrizione dei collettori ha richiesto un importante e complesso lavoro di integrazione tra rilievo di campagna e DTM. La tecnica di rilevamento Lidar infatti non è in grado di descrivere l'andamento del terreno al di sotto del pelo libero dei corsi d'acqua.

In particolare la definizione della reale geometria delle sezioni dei collettori in analisi è partita dalla sovrapposizione dei punti di rilievo con i punti ottenuti a partire dai dati Lidar. Una manuale procedura di integrazione ha consentito di identificare e correggere particolari singolarità del DTM, ottenendo in definitiva la reale sezione del corso d'acqua impiegata per la successiva implementazione del modello idraulico.

3.2 Dati idrologici

3.2.1 Le precipitazioni di progetto: curve segnalatrici di possibilità pluviometrica del Commissario Delegato per l'Emergenza

Con riferimento all'ambito oggetto di studio, non sono disponibili osservazioni pluviometriche derivanti da pluviometri o pluviografi installati all'interno del bacino Cattal.

In questi casi, ovvero quando non si disponga di osservazioni pluviometriche in prossimità del sito di interesse, è possibile ricorrere a tecniche di analisi regionale della frequenza degli eventi pluviometrici.

Tale classe di metodi si fonda sull'ipotesi che la distribuzione dei valori estremi di precipitazione entro una certa area presenti delle caratteristiche di omogeneità: in tal caso è accettabile studiare in maniera congiunta i valori di precipitazione misurati presso differenti stazioni ed estendere poi i risultati all'intera area di analisi.

E' quindi conveniente nel caso in analisi avvalersi dei risultati dello studio condotto dalla società *Nordest Ingegneria S.r.l.* per conto del Commissario Delegato per l'Emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007. Il lavoro citato ha individuato le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica sulla base di un'analisi regionalizzata dei dati di pioggia disponibili.

Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica impiegate per l'analisi idrologica del bacino Cattal, espresse secondo la relazione:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t,$$

sono state calcolate in base ai dati di precipitazione registrati alle stazioni riportate alla Tabella 3.2.

Tabella 3.2. Stazioni impiegate per il calcolo delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica relative all'ambito d'intervento.

RAGGRUPPAMENTO	STAZIONE
ZONA COSTIERA E LAGUNARE	Mira
	Valle Averno uno
	Jesolo
	Mogliano Veneto
	Mestre città
	Sant'Anna di Chioggia

I parametri a , b , e c ottenuti per la zona costiera e lagunare sono quelli riportati alla successiva Tabella 3.3.

Tabella 3.3. Parametri della curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.
 Zona costiera e lagunare.

T	a	b	c
2	20.3	12.0	0.821
5	27.2	13.5	0.820
10	31.4	14.4	0.816
20	35.2	15.3	0.809
30	37.2	15.8	0.805
50	39.7	16.4	0.800
100	42.8	17.3	0.791
200	45.6	18.2	0.783

La Figura 3.3 rappresenta graficamente le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.

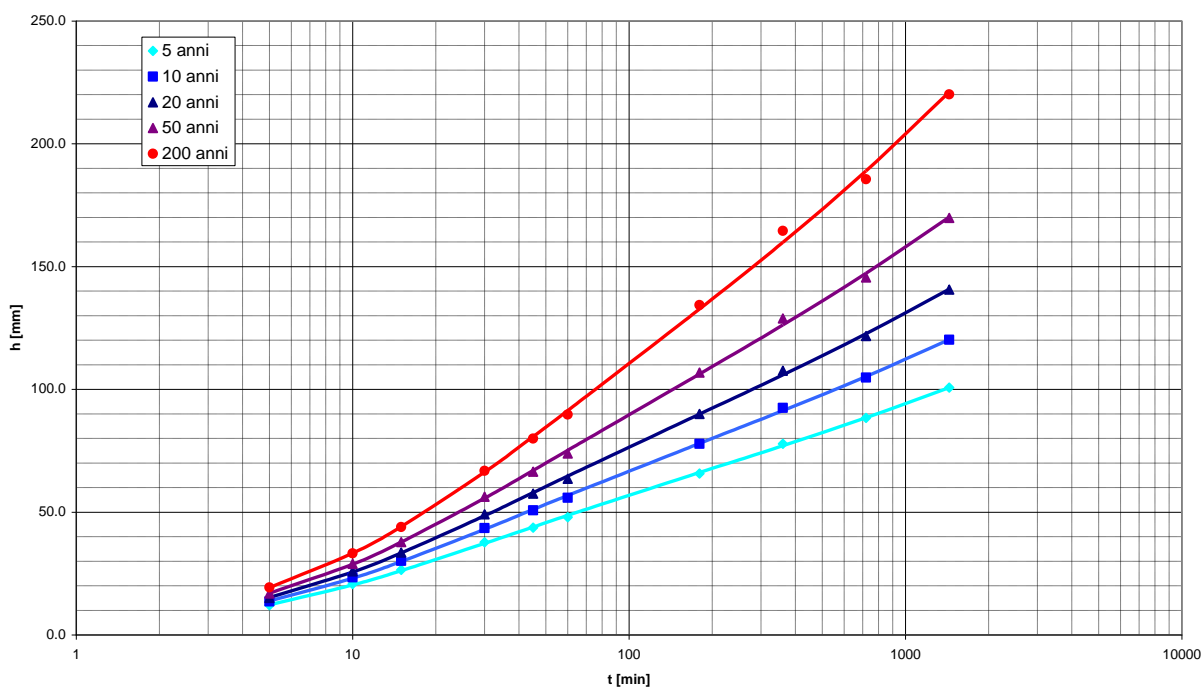


Figura 3.3. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica a tre parametri. Zona costiera e lagunare.

3.2.2 Ietogrammi di progetto: lo ietogramma Chicago

Nell'analisi idrologica la precipitazione considerata è quella corrispondente alle curve segnalatrici riportate al precedente paragrafo, per differenti tempi di ritorno e strutturata mediante lo ietogramma Chicago. Si tratta di una distribuzione temporale della precipitazione che assicura che, per ogni intervallo t di durata possibile, si realizzi la massima precipitazione prevista dalla curva segnalatrice. Si ottiene pertanto un diagramma di intensità di precipitazione (Figura 3.4), caratterizzato da una fase centrale di pioggia di notevole intensità e da altezze di precipitazione via via decrescenti all'inizio ed alla fine dell'evento. Il vantaggio del metodo consiste nel fatto che, qualunque sia la durata di pioggia che più cimenta il bacino (tipicamente quella del cosiddetto *tempo di corrvazione*, differente da bacino a bacino), per tale durata si osserva la massima precipitazione attesa. In altri termini, lo ietogramma Chicago assicura di individuare la precipitazione più gravosa per qualsiasi bacino oggetto di studio.

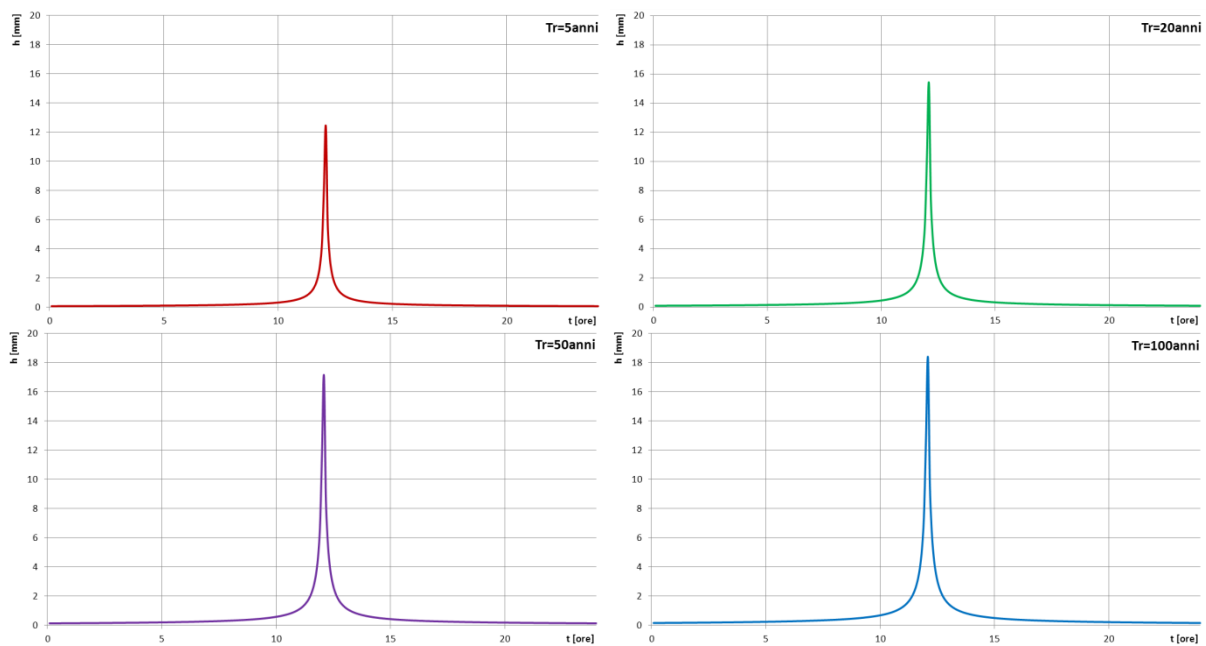


Figura 3.4. Ietogrammi Chicago di progetto per i diversi tempi di ritorno.

3.3 La definizione dei sottobacini idrografici

Aspetto fondamentale per l'analisi idraulica è certamente la definizione dei bacini tributari di ciascun collettore. Considerato il dettaglio richiesto nel caso in esame, a partire dal reticolo idrografico e dai bacini rappresentati alla precedente Figura 2.1, diviene importante studiare ad una scala maggiore gli aspetti idrologici, individuando alcuni sottobacini afferenti a ciascun tronco dei collettori oggetto di modellazione.

La perimetrazione dei sottobacini ha seguito una procedura empirica basata sull'analisi congiunta del rilievo di campagna e della rete secondaria e minore non oggetto di modellazione. L'individuazione qualitativa della geomorfologia del comprensorio ha permesso di perimetrare i sottobacini afferenti a ciascun tronco, ricercando il maggior dettaglio entro il sedime aeroportuale in modo da poter seguire con accuratezza gli effetti connessi agli sviluppi urbanistici previsti o prevedibili (Tabella 3.4 e Figura 3.5).

Tabella 3.4. Sottobacini del bacino Cattal.

CODICE SOTTOBACINO	BACINO	AREA [km²]
01-Pagliaga	Acque basse Cattal	1.335
02-Altinate	Acque medie Cattal	1.247
03-Ca' Solaro	Acque alte Cattal	0.586
04-Acque Alte Cattal	Acque alte Cattal	2.478
05-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	2.519
06-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.600
07-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.166
08-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.219
09-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.551
10-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.591
11-Canaletta Irrigua	Acque basse Cattal	1.209
12-Fornasotti	Acque basse Cattal	1.107
13-Collettore Cattal	Acque basse Cattal	2.272
14-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.751
15-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.987
16-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
17-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.176
18-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.358
19-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
20-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.202
21-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.766
22-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.140
23-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.020

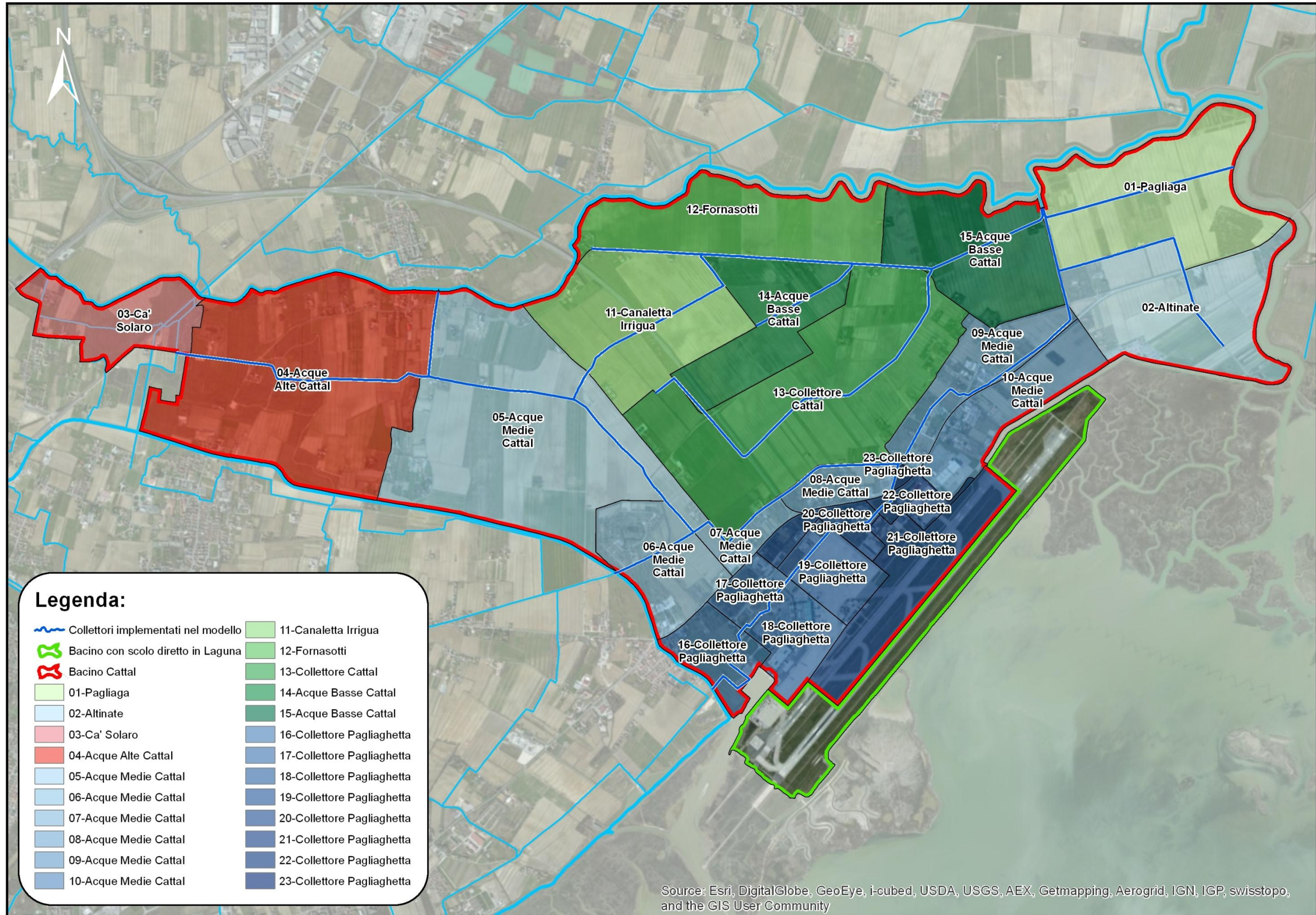


Figura 3.5. Suddivisione in sottobacini del bacino Cattal.

4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO IN HEC-HMS

4.1 Il software HEC-GeoHMS

Il codice di calcolo HEC-GeoHMS è stato sviluppato per essere una interfaccia di facile utilizzo tra i GIS (Geographic Information System) ed il codice di calcolo HEC-HMS; esso consente innanzitutto una visualizzazione immediata dei risultati ottenuti da analisi idrologiche condotte per mezzo delle funzioni GIS ed in secondo luogo permette di creare, in modo facile e intuitivo, gli input idrologici necessari all'utilizzo del software HEC-HMS.

L'efficacia dimostrata dal codice nel realizzare analisi spaziali utili alla definizione dei parametri di modelli idrologici concentrati e distribuiti rende il codice uno strumento accurato e affidabile in grado di trattare dati non solo alla scala di bacino o sottobacino, bensì anche al dettaglio del pixel (tipicamente 20-25 m di lato). Tale caratteristica diventa particolarmente importante qualora si debba, a partire da caratteristiche idrologiche distribuite (ad es. la precipitazione, la capacità di infiltrazione, etc.), ricavare informazioni concentrate alla scala di bacino o di sottobacino.

L'operazione di analisi viene poi tradotta automaticamente dal codice in un linguaggio leggibile dal software HEC-HMS, riducendo in tal modo i costi sia in termini di tempo, sia in termini di approssimazione del risultato.

4.2 Il software HEC-HMS

Il codice di calcolo HEC-HMS si dimostra uno strumento affidabile nella modellazione idrologica dell'area allo studio; esso ha richiesto una descrizione accurata della geometria dei bacini e dei sottobacini definiti dal reticolo idrografico e la caratterizzazione di proprietà fisiche del territorio quali la pedologia, la capacità di infiltrazione e l'uso del suolo che governano i meccanismi di separazione degli afflussi e la trasformazioni di essi in deflussi.

4.2.1 I modelli di trasformazione afflussi-deflussi

La risposta idrologica di un bacino idrografico dipende da un insieme di processi di diversa natura che interessano gli elementi costitutivi del bacino stesso (stati versante e stati canale); essi possono essere riassunti nei seguenti:

- la produzione di deflusso efficace all'interno di ciascun elemento costitutivo del bacino;
- il trasporto della precipitazione efficace all'interno dello stato versante fino all'ingresso di questa nella rete idrografica;
- la propagazione dei deflussi efficaci lungo la rete canalizzata.

Il meccanismo che regola la produzione di deflusso efficace è governato da un bilancio del contenuto d'acqua che, in questa sede, verrà considerato alla scala del sottobacino; tale bilancio, nella sua formulazione più completa, tiene conto dell'evoluzione temporale dell'intensità di precipitazione, della frazione di precipitazione intercettata dalla vegetazione e che quindi non raggiunge la superficie del terreno, della frazione d'acqua che viene allontanata dal terreno per evaporazione e traspirazione delle piante, della frazione d'acqua che defluisce superficialmente e che quindi costituisce la risposta rapida del bacino, ed infine del flusso che si infiltra nel terreno e che in parte può contribuire alla risposta idrologica in tempi più lunghi ed in parte viene considerato perso poiché rimane legato alle particelle di terreno o contribuisce alla ricarica della falda.

Lo ietogramma efficace rappresenta quindi la pioggia che, idealmente, contribuisce alla formazione della piena, la pioggia cioè che, tramite ruscellamento superficiale e scorrimento nei collettori, giunge nei tempi più brevi alla sezione di chiusura, formando così i valori elevati di portata. La parte restante dello ietogramma, che comunque rappresenta spesso un volume non indifferente della pioggia complessivamente caduta, produce la saturazione del terreno superficiale ed alimenta la falda sotterranea, oppure defluisce lentamente, attraverso moti filtranti negli strati superficiali del suolo, e raggiunge la sezione di chiusura del bacino dopo molto tempo, senza contribuire così alla formazione del picco dell'idrogramma di piena.

Il processo fisico di produzione dei deflussi può essere descritto da un modello che, attraverso le necessarie semplificazioni, sia in grado di coglierne i caratteri fondamentali e che, attraverso il valore assunto dai parametri, aderisca al particolare caso studio.

4.2.1.1 Modello continuo di separazione dei deflussi: Soil Moisture Accounting

Un modello idrologico continuo deve essere in grado di descrivere in modo affidabile il comportamento di un bacino idrografico sia in regime di piena sia in regime di magra.

Ciò che differenzia una trattazione continua da quella ad evento è essenzialmente il termine di evapotraspirazione che, nel primo caso, riveste un ruolo non trascurabile

soprattutto nei deflussi di magra, tipicamente caratteristici dei periodi estivi. Definita la precipitazione, il termine di evapotraspirazione potenziale è calcolato dal modello attraverso la formula di Priestley Taylor (1972):

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \frac{s(R_n - G)}{s + \gamma} \alpha \quad [\text{mm/giorno}]$$

dove λ è il calore latente di evaporazione [MJ/kg], R_n è la radiazione solare netta [MJ/m²giorno], G è il flusso di calore al suolo per riscaldamento o raffreddamento [MJ/m²giorno], s è la pendenza della curva che esprime la tensione di vapore di saturazione in funzione della temperatura [kPa/°C], γ è la costante psicometrica [kPa/°C] e α è il coefficiente di Priestly-Taylor che sostituisce il termine aerodinamico dell'equazione di Penmann-Monteith e rappresenta la frazione di acqua disponibile all'evaporazione.

Il modello Soil Moisture Accounting (di seguito SMA) tiene conto dei meccanismi di intercettazione della precipitazione da parte della vegetazione, simula l'accumulo dell'acqua nello strato collaborante di suolo e descrive i movimenti di questa all'interno del terreno e verso gli strati più profondi e la falda. A partire dalla precipitazione e da un valore di evapotraspirazione potenziale calcolato secondo Priestly Taylor, come descritto sopra, il modello calcola le perdite per evapotraspirazione, i contributi di deflusso superficiale e sub superficiale ed il termine di percolazione profonda.

Il modello SMA rappresenta il sottobacino come un insieme di invasi posti in serie secondo la schematizzazione illustrata in Figura 4.1; il contenuto d'acqua nel terreno è calcolato attraverso un bilancio di massa e viene aggiornato in continuo nel corso degli eventi intensi e tra due eventi successivi.

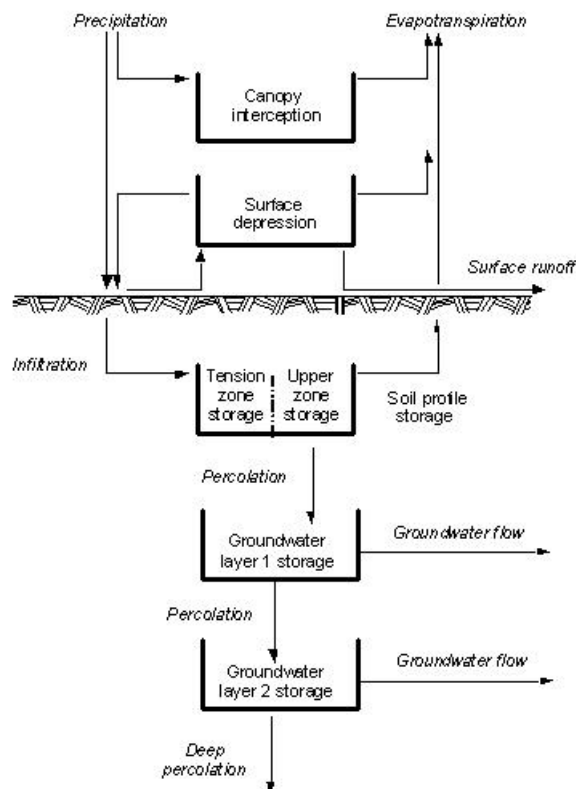


Figura 4.1. Schema concettuale dell'algoritmo del modello continuo SMA (tratto dal Manuale Tecnico di HEC – HMS).

L'accumulo e la perdita di acqua possono avvenire in quattro 'ambienti' principali:

- nella **vegetazione** ('**canopy interception**') che, per mezzo degli alberi, delle piante e dell'erba, cattura una frazione piccola della precipitazione che affluisce al bacino e non le fa raggiungere il terreno; l'acqua così immagazzinata dalle piante può venire rilasciata per evaporazione mentre la frazione di pioggia restante è disponibile ad essere invasata negli strati successivi. Nel presente studio il termine descritto non è stato considerato.
- nelle **depressioni superficiali del terreno** ('**surface-interception storage**') che raccolgono quella frazione della precipitazione non trattenuta dalle piante che eccede la capacità di infiltrazione del terreno. Una volta che il volume a disposizione viene completamente saturato, l'eccesso di acqua contribuisce al deflusso superficiale. Nell'analisi condotta tale volume specifico è stato posto uniforme su tutto il bacino e pari a 2 mm.
- nello **strato di terreno collaborante al deflusso sub-superficiale** ('**soil-profile storage**') suddiviso in due regioni, 'upper zone' e 'tension zone' (si veda il diagramma in Figura 30). La prima delle due regione schematizza la porzione di terreno in cui l'acqua viene immagazzinata nelle porosità; essa è soggetta quindi sia a

fenomeni di evapotraspirazione sia a percolazione negli strati profondi. La seconda zona invece rappresenta quella porzione di suolo che trattiene l'acqua per capillarità e che quindi può variare il proprio contenuto d'acqua solo per evaporazione. Il processo di evapotraspirazione coinvolge prima l'acqua accumulata nelle porosità dello strato superiore del terreno e poi quella trattenuta per capillarità; il volume di acqua evapotraspirata si riduce al diminuire del contenuto d'acqua nel terreno a causa dell'aumento di resistenza nella rimozione delle particelle d'acqua legate al terreno (la tensione capillare è legata al contenuto d'acqua da una legge di potenza ad esponente negativo per cui diventa fortemente negativa per bassi valori di contenuto d'acqua).

- **nello strato profondo** ('**groundwater storage**') in cui, l'acqua percolata dagli strati superiori di terreno, è caratterizzata da flussi orizzontali e a lento scorrimento. La velocità di infiltrazione dipende dalla massima capacità di infiltrazione e dal contenuto d'acqua del terreno.

La precipitazione, ridotta della frazione trattenuta dalla vegetazione, è disponibile al terreno ed è quindi soggetta ai meccanismi di infiltrazione. Il volume d'acqua che si infiltra in un intervallo di tempo è funzione del volume d'acqua disponibile all'infiltrazione, delle condizioni di umidità del suolo e della massima velocità di infiltrazione, valore medio calcolato per ciascun sottobacino sulla base delle classi di permeabilità definite nella Carta dei suoli dell'Arpav.

Il massimo volume d'acqua immagazzinabile nel terreno è dato dal volume invasabile nelle porosità del suolo e dal volume trattenuto per capillarità e disponibile alle piante anche chiamato AWC (available water capacity).

La velocità di infiltrazione all'interno del suolo, funzione del contenuto d'acqua iniziale, del massimo volume d'acqua invasabile e della massima velocità di infiltrazione, varia linearmente tra il tasso di infiltrazione massimo ed il valore zero.

La percolazione dell'acqua verso gli strati più profondi del terreno e verso la falda avviene ad una velocità che dipende dalla massima velocità di percolazione (stimata all'incirca un terzo della velocità di infiltrazione massima), dalla frazione del volume di suolo superficiale disponibile effettivamente occupato dall'acqua e dalla frazione di volume di suolo profondo disponibile all'invaso effettivamente occupato dall'acqua. Il tasso di percolazione è tanto maggiore quanto più è saturo lo strato superiore di suolo ed è insaturo lo strato inferiore

(massima velocità di percolazione) e diminuisce fino ad annullarsi al progressivo saturarsi dello strato che inferiormente riceve l'acqua. Il modello SMA implementato nel codice HEC-HMS fornisce la possibilità di disporre di un ulteriore serbatoio profondo ideale da cui percola verticalmente una frazione d'acqua considerata definitivamente persa ai fini del deflusso (Figura 30); questo secondo invaso è stato trascurato.

I volumi calcolati contribuiscono al flusso di portata con tempi diversi a seconda che siano superficiali o sub-superficiali e che sono rispettivamente dell'ordine di qualche ora e di qualche decina di ore.

L'evapotraspirazione è un processo che coinvolge inizialmente l'acqua intercettata dalla vegetazione, e secondariamente l'acqua presente nella superficie e nello strato collaborante di suolo dove viene innanzitutto intaccato il volume accumulato nelle porosità del terreno e secondariamente le particelle trattenute per capillarità. Nel caso in cui sia la 'tension zone' ad essere coinvolta l'evapotraspirazione è una frazione dell'evapotraspirazione potenziale e diminuisce al diminuire del contenuto d'acqua nel terreno.

4.2.1.2 Modello di separazione dei deflussi ad evento: SCS

In condizioni di piena alcuni termini che compaiono nel bilancio del contenuto d'acqua nel suolo diventano trascurabili. Possono essere trascurate le perdite per evapotraspirazione dal momento che si suppone che durante un evento di piena sia diverso da zero il termine di precipitazione in ingresso e possono anche essere trascurati i deflussi profondi perché caratterizzati da tempi di arrivo non confrontabili con i tempi caratteristici dell'evento.

Per tale ragione la definizione dello ietogramma netto, o efficace, a partire dallo ietogramma totale, può essere ottenuta più semplicemente attraverso il metodo Curve Number del Soil Conservation Center (SCS-CN).

Tale metodo individua il volume di precipitazione efficace Q a partire dall'altezza di precipitazione totale P , in funzione del volume complessivo immagazzinabile nel terreno S . Tutte le variabili sono espresse in mm.

Nelle ipotesi del metodo, il deflusso è inizialmente nullo, fino a che l'afflusso meteorico P non raggiunge un valore di soglia pari al 20% del volume immagazzinabile nel terreno S . Dopo tale fase, una parte dell'apporto meteorico si trasforma in pioggia efficace, in proporzione sempre crescente, man mano che l'evento procede.

Il parametro S è sostituito nella pratica corrente da un indice adimensionale, chiamato Curve Number, che varia tra 0 e 100. Per $CN=0$ il bacino non produce alcun deflusso ($S=\infty$), mentre per $CN=100$ risulta del tutto impermeabile ($S=0$), per cui P e Q si equivalgono identicamente.

Le equazioni del metodo SCS da applicare sono le seguenti:

$$Q = \begin{cases} 0 & P \leq 0.20 S \\ \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S} & P > 0.20 S \end{cases} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

- con
- Q deflusso in mm
 - P precipitazione in mm
 - S volume immagazzinabile nel terreno in mm
 - CN numero di curva caratteristico del terreno considerato.

In letteratura sono disponibili numerose indicazioni per la scelta del valore di CN proprio di ciascuna area. Il parametro va scelto tenendo conto delle caratteristiche pedologiche del terreno, che il Soil Conservation Service classifica in quattro categorie da A a D con permeabilità decrescente, dell'uso del suolo e della condizione di umidità iniziale del bacino, prodotta da ulteriori apporti meteorici nei cinque giorni precedenti l'evento.

Le equazioni si applicano non solo con riferimento ai valori complessivi di un evento, ma anche alla loro variazione nel tempo, per cui la frazione di pioggia efficace ΔQ in un intervallo Δt nel quale sia piovuto ΔP è pari a:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q(t + \Delta t) - Q(t) = \frac{(P(t + \Delta t) - 0.20 S)^2}{P(t + \Delta t) + 0.80 S} - \frac{(P(t) - 0.20 S)^2}{P(t) + 0.80 S} \\ &= \frac{(P(t) + \Delta P - 0.20 S)^2}{P(t) + \Delta P + 0.80 S} - \frac{(P(t) - 0.20 S)^2}{P(t) + 0.80 S} \quad \text{per } P > 0.2 S \\ &\approx \Delta P \cdot \left(\frac{P(t) - 0.20 S}{P(t) + 0.80 S} \right) \cdot \left(2 - \frac{P(t) - 0.20 S}{P(t) + 0.80 S} \right) \end{aligned}$$

Il coefficiente di deflusso Φ , inteso come rapporto tra precipitazione efficace e precipitazione totale, dipende dalla tipologia di terreno, per effetto del parametro S , e dall'altezza di precipitazione complessiva P .

Il coefficiente di deflusso medio dell'evento Q/P presenta valori crescenti all'aumentare di P . Anche il coefficiente di deflusso marginale $\Delta Q/\Delta P$ aumenta progressivamente al progredire dell'evento e tende asintoticamente al valore 1.

Nelle figure seguenti si riportano alcuni abachi che in funzione del parametro P , da intendersi come altezza di precipitazione cumulata osservata fino a un dato momento, restituiscono rispettivamente la precipitazione efficace totale, il coefficiente di deflusso medio fino a quell'istante e il coefficiente di deflusso marginale o istantaneo, cioè la proporzione di precipitazione efficace che si genera in quello stadio dell'evento.

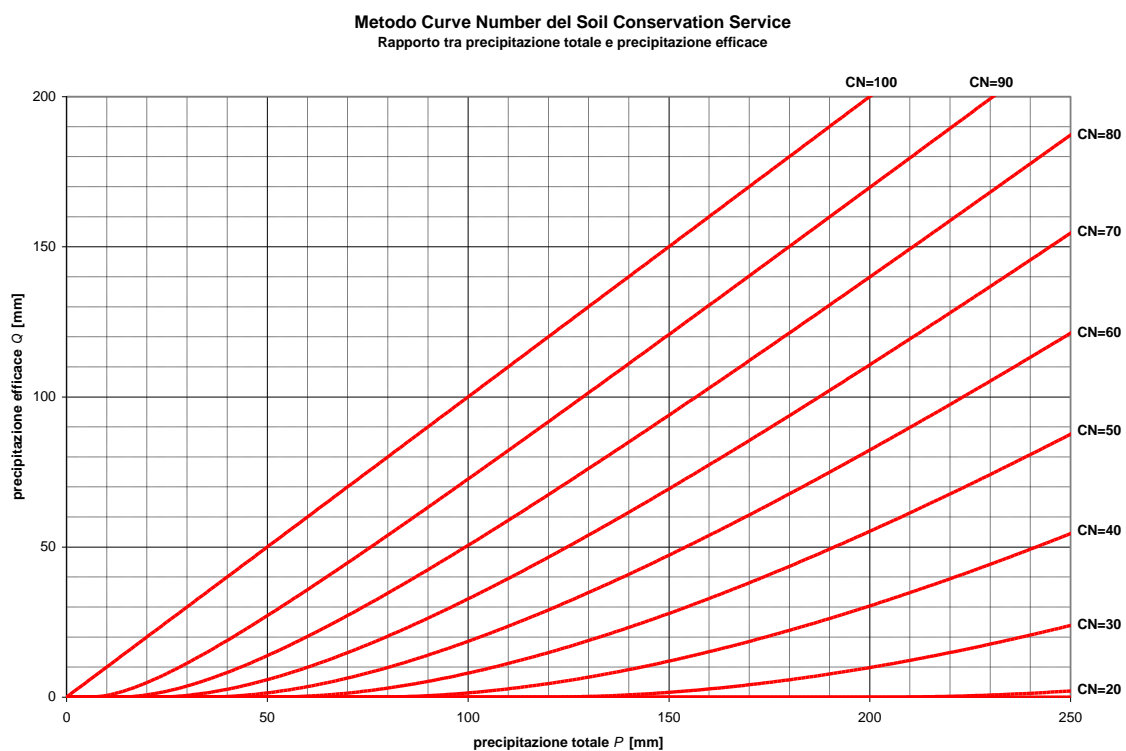


Figura 4.2. Valori di precipitazione efficace in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

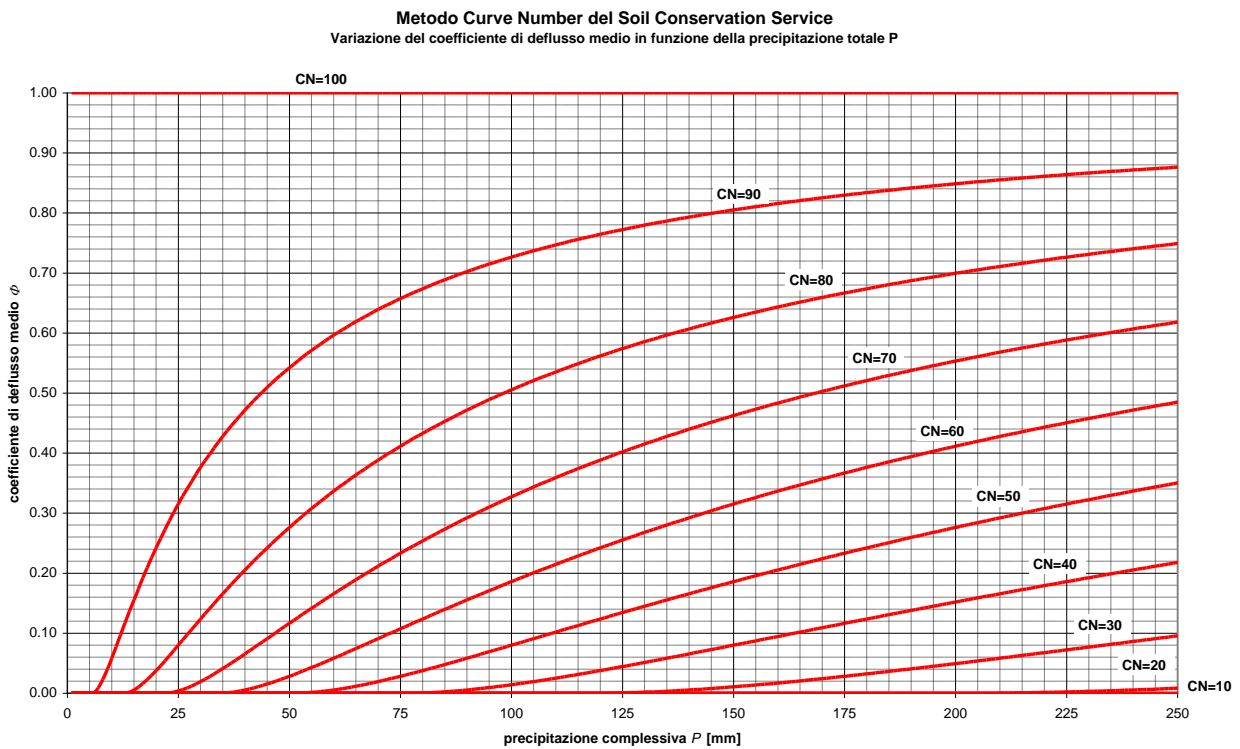


Figura 4.3. Valori di coefficiente di deflusso medio in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

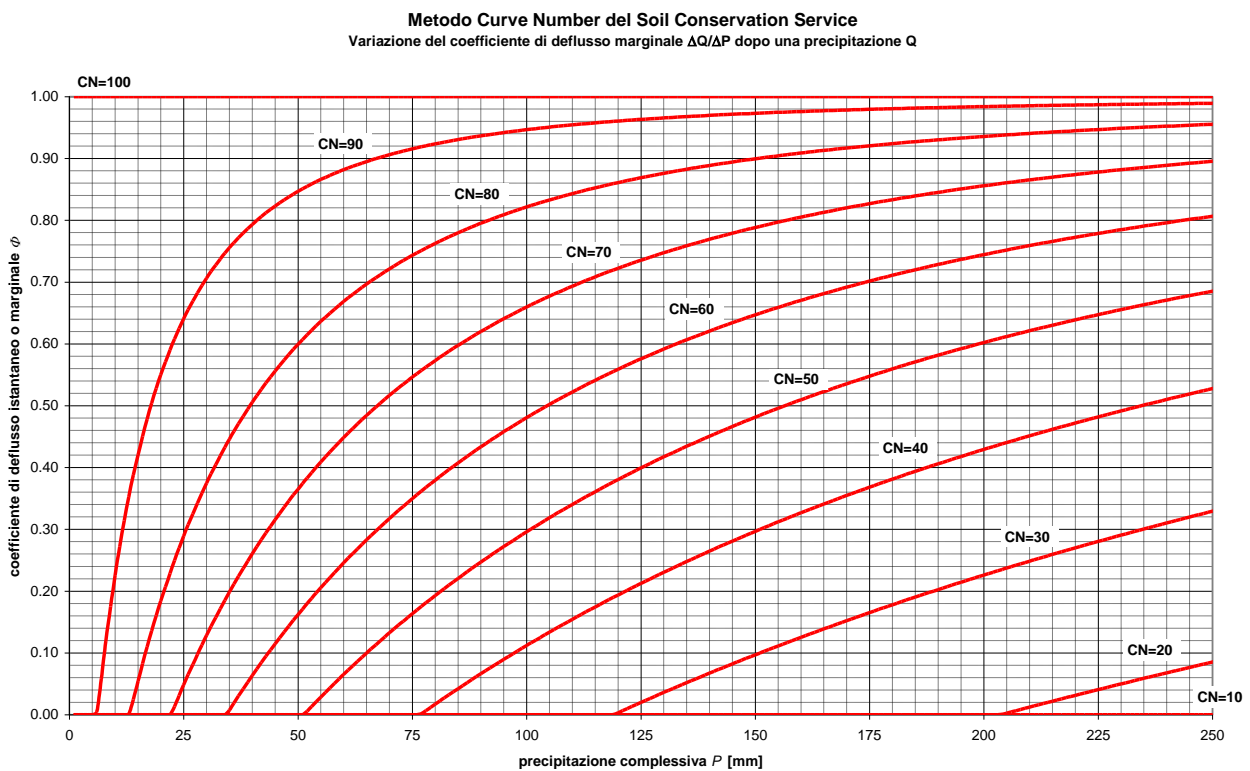


Figura 4.4. Valori di coefficiente di deflusso marginale o istantaneo in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

Il parametro CN fornisce una indicazione della quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno, la quale stabilisce in base alle ipotesi assunte dal modello SCS descritto, la relazione tra afflussi e deflussi in un bacino idrografico. Tale parametro contiene le informazioni relative alla capacità di infiltrazione del terreno, secondo quattro classi di permeabilità, le informazioni relative allo stato di imbibizione del terreno (classi AMC) e le informazioni relative alla copertura di suolo.

Secondo lo schema descritto i suoli sono divisi in tre classi, per quanto riguarda l'insieme delle condizioni d'uso del suolo (tipologia di destinazione d'uso, trattamento della superficie e condizioni di drenaggio) ed in base a quattro gruppi per quanto riguarda la capacità di infiltrazione del terreno. I suoli costituiti principalmente da sabbie e ghiaie di notevole spessore sono caratterizzati da drenaggio buono o alto e presentano un tasso di infiltrazione elevato anche in condizioni di notevole imbibizione (classe A, suoli a basso potenziale di scorrimento). La classe B di suoli è caratterizzata da una tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con un drenaggio da moderatamente buono a buono ed un tasso di infiltrazione moderato in condizioni di imbibizione elevata. I terreni poco permeabili rientrano nelle classi C e D. I terreni di classe C sono costituiti da suoli con tessitura da moderatamente fine a fine e presentano un basso tasso di infiltrazione; i terreni di classe D caratterizzati da tasso di infiltrazione molto basso, comprendono principalmente suoli argillosi ad alto potenziale di rigonfiamento o terreni caratterizzati da piccoli spessori giacenti su materiale pressoché impermeabile.

I valori del parametro CN si riferiscono a tre diverse condizioni di umidità del terreno definite condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Condition, AMC) l'evento di pioggia. La categoria AMC-I caratterizza i suoli sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o una coltivazione soddisfacente e che abbiano perciò un potenziale di scorrimento superficiale minimo; la categoria AMC-II rappresenta la condizione media di umidità del terreno e a tale situazione si fa riferimento per l'attribuzione dei valori di CN. Infine la categoria AMC-III contempla la condizione in cui i terreni siano praticamente saturati dalle precedenti piogge e in tale situazione il potenziale di scorrimento superficiale risulta massimo. Una volta assegnati, sulla base di valori di letteratura, i CN della categoria AMC-II, è possibile determinare i valori di CN riferibili alle rimanenti due categorie attraverso alcune relazioni analitiche che per brevità non riportiamo in questa sede.

La categoria a cui fare riferimento per l'applicazione del modello è individuata in base alla precipitazione totale dei 5 giorni antecedenti l'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o di riposo).

A partire dai valori di permeabilità medi calcolati come esposto in precedenza, a ciascuna unità elementare cartografica è stata associata una classe di permeabilità SCS (gruppi A, B, C, D); tale informazione, unita alla destinazione d'uso del suolo, ha permesso di attribuire un valore di CN a ciascuna unità cartografica.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza; il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno standard del 5 %, che non possono essere attribuite ai territori di bonifica i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.0 - 0.1 % (Figura 4.5).

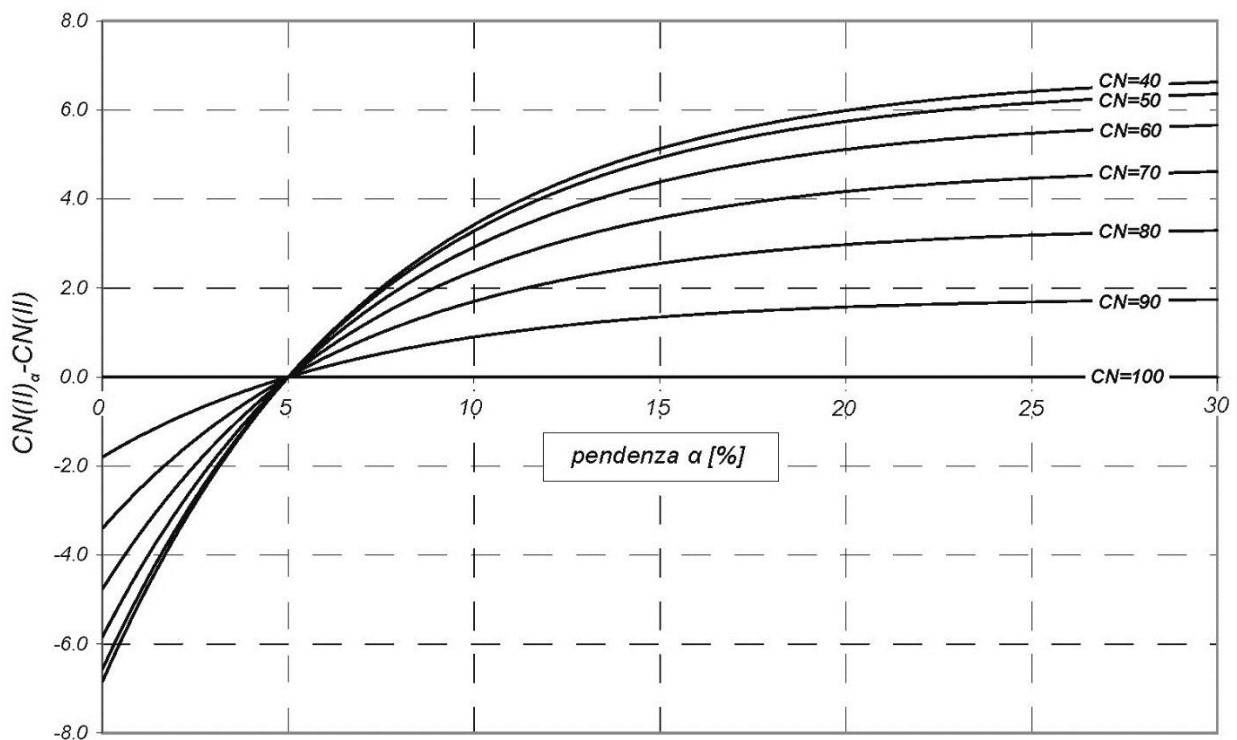


Figura 4.5. Correzione del CN in funzione della pendenza.

Gli ietogrammi efficaci, che indicano l'altezza di pioggia che contribuisce effettivamente alla generazione della portata di piena, sono stati calcolati secondo il metodo SCS-CN descritto in precedenza, sulla base dei valori di CN medi per sottobacino.

4.2.1.3 Modello di Clark

La trasformazione degli afflussi netti di precipitazione in apporti al reticolo principale dei bacini idrografici analizzati è stata realizzata mediante l'applicazione del modello di Clark.

Si tratta di un modello concettuale, lineare e invariante che valuta un idrogramma unitario prodotto dalla combinazione in serie di un singolo invaso lineare con la cosiddetta curva di concentrazione normalizzata del bacino. Ad ogni punto compreso nel bacino è possibile associare un tempo presunto di corrivazione, cioè il tempo necessario perché l'apporto di pioggia raggiunga la sezione di chiusura del bacino: quando si riporti per ciascun tempo t_c la porzione di bacino che ha tempo di corrivazione compreso nell'intervallo infinitesimo $[t_c - dt, t_c + dt]$ si ottiene una curva che sottende un'area unitaria detta appunto curva di concentrazione normalizzata. Tale curva è una mappa della distribuzione geografica e idrografica del bacino: per molti bacini compatti ha forma pressoché standard e si differenzia solo per il tempo di corrivazione t_{corr} :

$$\frac{A_c}{A_{tot}} = \begin{cases} \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_{corr}} \right)^{1.5} & t < \frac{t_{corr}}{2} \\ 1 - \sqrt{2} \left(1 - \frac{t}{t_{corr}} \right)^{1.5} & t \geq \frac{t_{corr}}{2} \end{cases}$$

Con tale curva standard, i parametri del modello di Clark sono due: il parametro k del bacino lineare e il tempo di corrivazione del bacino. Il significato fisico dei parametri consente solo in parte una loro stima: se pure il tempo di corrivazione può essere valutato con formule empiriche come quella di Ventura, il parametro k risulta di più difficile valutazione.

In letteratura è spesso considerato come invariante il rapporto $\frac{k}{t_{corr} + k}$, ritenendolo funzione della sola tipologia dei bacini. Per bacini agricoli, il rapporto è spesso compreso in un range tra 0.25 e 0.45.

4.2.2 Il trasporto lungo la rete canalizzata

Il processo di propagazione dell'onda di piena in un corso d'acqua è descritto in forma completa dal sistema di equazioni di De St.Venant composto da un'equazione dinamica derivabile dal principio di conservazione dell'energia o della quantità di moto e dall'equazione di continuità. Un approccio più semplice è quello adottato dai modelli idrologici che sono basati su concettualizzazioni dei fenomeni fisici non rigorosi nel rispetto delle leggi che li regolano.

Come detto nel corso della presente relazione il lavoro prevede accanto al modello idrologico la realizzazione di un modello idraulico. Così la possibilità di simulare la

propagazione dell'onda di piena lungo la rete direttamente con HEC-HMS ha poco significato se non quello di stimare l'entità dell'onda di piena in uscita ad un determinato bacino (somma di più sottobacini), interpretando in termini parabolici, gli effetti di smorzamento del picco. I modelli idrologici a differenza dei modelli idraulici non richiedono una conoscenza dettagliata della geometria e delle caratteristiche di scabrezza: si avranno delle approssimazioni sui risultati che per l'obiettivo che ci si pone sono da ritenersi del tutto accettabili.

4.2.2.1 Modello di Muskingum - Cunge

Il modello idrologico di propagazione della piena di Muskingum-Cunge è un'estensione del più semplice modello di Muskingum.

Il modello è basato sulla soluzione dell'equazione di continuità con immissione laterale data dalla:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$$

e dell'equazione dinamica in forma diffusiva:

$$j = i_f - \frac{\partial y}{\partial x}$$

dove A è l'area liquida e Q la portata che fluisce attraverso la sezione, q_L è l'immissione laterale di portata specifica, j è la pendenza della linea dell'energia e i_f è la pendenza del fondo del canale. Dalla combinazione delle due equazioni si ottiene l'equazione di convezione-diffusione del tipo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + a \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + a q_L$$

dove $a = \frac{dQ}{dA}$ è la celerità dell'onda e $D = \frac{Q}{2Bj}$ è la diffusività idraulica (con B larghezza superiore della sezione liquida).

Una approssimazione alle differenze finite delle derivate parziali conduce ad una forma semplice dell'equazione descritta dove compaiono i parametri K e X (Cunge 1969, Ponce 1978) definiti come:

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad \text{e} \quad X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{Bi_f a \Delta x} \right).$$

I valori di Q , a , B sono funzioni del tempo e vengono ricalcolati dal software ad ogni intervallo temporale e spaziale Δt e Δx .

La scelta dei passi di calcolo è importante per l'accuratezza e la stabilità del metodo.

5 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO IN HEC-RAS

La modellazione idraulica dell'area in esame a mezzo del codice di calcolo HEC-RAS ha richiesto rispettivamente l'importazione della geometria del sistema, la definizione delle condizioni al contorno e una serie di simulazioni a moto vario per verificare il corretto funzionamento del programma.

5.1 Il software HEC-RAS

Il modello matematico-numerico utilizzato per le simulazioni del sistema idraulico oggetto di studio è il codice "HEC-RAS River Analysis System", sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center. La versione del modello utilizzata è la numero 4.1.0 aggiornata al gennaio 2010.

HEC-RAS consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali ed artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori, paratoie, impianti idrovori, ecc...) eventualmente presenti nel sistema. Il modello è in grado di simulare indifferentemente sia canali singoli che reti di canali naturali od artificiali, chiuse od aperte, integrando profili di moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o di tipo "misto", oppure individuando la soluzione delle equazioni di De Saint Venant relative a moti idraulici monodimensionali a pelo libero.

Il modulo destinato al calcolo dei profili a moto permanente è basato sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, valuta le perdite di carico per attrito attraverso l'equazione di Manning e tiene conto di perdite localizzate a mezzo di opportuni coefficienti moltiplicativi della velocità. L'equazione del momento è utilizzata in ogni situazione in cui il profilo del moto subisca brusche variazioni, ad esempio in corrispondenza a ponti, confluenze, o risalti idraulici.

Il modulo di calcolo dei profili a moto vario è stato derivato da un precedente modello denominato UNET, integrato delle componenti di calcolo dei manufatti sviluppate per il moto permanente e di appositi sub-moduli per tener conto di eventuali aree di espansione o serbatoi connessi al sistema di canali. Tale capacità di tener conto di invasi laterali fa sì che il modello possa essere definito di tipo "quasi-bidimensionale".

Si descrivono di seguito sinteticamente le equazioni risolte dai due diversi moduli e le tecniche di risoluzione. Maggiori dettagli matematici e numerici possono essere reperiti nell'Hydraulic Reference Manual del codice.

5.1.1 Calcolo dei profili a moto permanente

Il modulo destinato al calcolo dei profili a moto permanente si basa sulla risoluzione, a mezzo di una procedura iterativa denominata "standard step method", dell'equazione monodimensionale del moto. Considerate due generiche sezioni consecutive 1 e 2 del corso d'acqua, tale equazione si può scrivere nella forma:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

in cui:

Y rappresenta il tirante d'acqua [m]

Z è la quota di fondo del canale [m s.m.m.]

V è la velocità media (portata totale/area liquida totale) [m/s]

α è il coefficiente di Coriolis [-]

g è l'accelerazione di gravità [m/s^2]

h_e è la perdita di energia tra le suddette sezioni 1 e 2 [m]

La perdita di energia h_e tra le due sezioni considerate è comprensiva delle perdite continue per attrito e delle perdite localizzate dovute ad espansioni e contrazioni, e quindi si può esprimere come:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

in cui L [m] rappresenta la distanza tra le sezioni 1 e 2, S_f [-] è la pendenza della linea dell'energia, C [-] è il coefficiente di contrazione od espansione.

Il calcolo della velocità avviene mediante la formula di moto uniforme di Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (3)$$

in cui $n[m^{1/3} s]$ è il coefficiente di scabrezza di Manning ed $R[m]$ il raggio idraulico della sezione.

5.1.2 Calcolo dei profili a moto vario

Le equazioni risolte dal modello sono quelle di De Saint Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_f = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (5)$$

in cui: A è l'area liquida [m^2]

S è il volume liquido [m^3]

t è il tempo [s]

Q è la portata [m^3/s]

x è la distanza progressiva lungo il canale [m]

Q_f è la portata lateralmente affluente per unità di lunghezza [m^2/s]

V è la velocità [m/s]

g è l'accelerazione di gravità [m/s^2]

Z è l'elevazione del fondo del canale rispetto ad un prefissato riferimento [m]

S_f è la pendenza della linea dell'energia [-].

L'effetto di eventuali strutture (ponti, ecc...) sul profilo di moto viene descritto introducendo in corrispondenza da esse una perdita di carico localizzata S_h dipendente dalle caratteristiche geometriche del manufatto e dalle grandezze del moto (tirante e velocità) in corrispondenza ad esso.

Le suddette equazioni, di tipo non lineare, vengono approssimate a mezzo di uno schema alle differenze finite di tipo implicito; il sistema non lineare risultante viene linearizzato e risolto mediante tecniche numeriche implicite.

Si descrivono di seguito le attività svolte per l'implementazione del modello idraulico in HEC-RAS.

5.2 Importazione della geometria del sistema

Il software HEC-RAS rappresenta la geometria di una rete di canali mediante files di geometria; ciascun file contiene una specifica configurazione geometrica: tra loro possono differenziarsi per vari motivi, quali:

- modifiche alla conformazione dei canali o alle caratteristiche geometriche delle sezioni o dei manufatti;
- modifiche di parametri significativi, quali il coefficiente di scabrezza di Manning o i coefficienti di portata di sfiori o luci;
- diverso grado di dettaglio della rappresentazione, per consentire ad esempio simulazioni con vario grado di accuratezza e differente velocità di esecuzione;
- aggiunta o rimozione di elementi, quali tratti di canale, manufatti, diversioni...;
- in caso di utilizzo di *pump stations*, differente regolazione delle quote di attacco e stacco dei singoli gruppi.

5.2.1 Corsi d'acqua rappresentati

I canali della rete idraulica principale inseriti nel modello idraulico sono quelli rappresentati alla successiva Tabella 5.1.

Una rappresentazione del dominio di calcolo descritto è riportata in Figura 5.1.

Tabella 5.1. Collettori del bacino Cattal rappresentati nel modello HEC-RAS.

COLLETTORE	BACINO	LUNGHEZZA [m]
ACQUE ALTE CATTAL	Acque Alte Cattal	1'971
ACQUE BASSE CATTAL	Acque Basse Cattal	1'567
ACQUE MEDIE CATTAL	Acque Medie Cattal	6'895
CANALETTA CATTAL	Acque Basse Cattal	860
CANALETTA IRRIGUA	Acque Basse Cattal	1'744
CATTAL	Acque Basse Cattal	2'511
ALTINATE	Acque Basse Cattal	1'789
CONGIUNZIONE CATTAL DESE	Acque Medie Cattal	627
FORNASOTTI	Acque Basse Cattal	1'942
PAGLIAGA	Acque Basse Cattal	1'448
PAGLIAGHETTA	Acque Medie Cattal	2'748
TREGO DI LEVANTE	Acque Medie Cattal	663

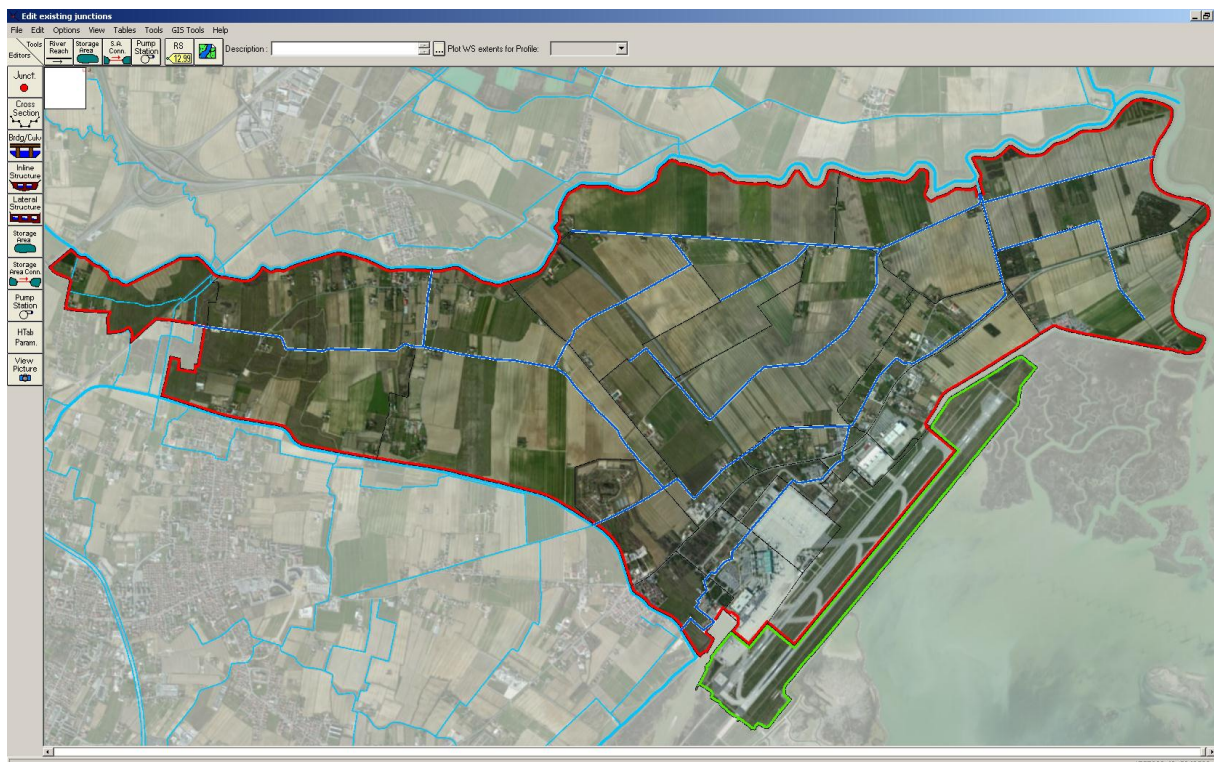


Figura 5.1. Rete implementata nel modello HEC-RAS - stato preinterventi.

5.2.2 Inserimento ed elaborazione delle sezioni idrauliche

Per l'inserimento dei dati geometrici delle sezioni si è fatto uso del software HEC-GeoRAS.

5.2.2.1 Il software HEC-GeoRAS

Il codice di calcolo HEC-GeoRAS è stato sviluppato per essere una interfaccia di facile utilizzo tra i GIS (Geographic Information System) ed il codice di calcolo HEC-RAS. L'utilizzo principale del modulo è quello di estrarre da piani quotati le sezioni dei canali di interesse. Con GeoRAS si sono pertanto individuate sezioni equispaziate con passo pari a 10 m, estraendone i dati altimetrici dal piano quotato fornito dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive e ottenuto con tecnologia LIDAR.

Poiché i dati LIDAR sono caratterizzati da scansione spaziale di circa 1 x 1 m, le sezioni ottenute hanno punti equispaziati, con passo compreso tra 1 e 1.4m e risultano perciò di estremo dettaglio. Va osservato però che le informazioni ottenute dal LIDAR non sono significative per le porzioni di canale occupate dall'acqua, in quanto il piano quotato restituisce – con qualche imprecisione dovuto a fenomeni di rifrazione – il livello del pelo libero dell'acqua.

Le sezioni estratte con GeoRAS devono pertanto essere integrate con i rilievi di campagna.

5.2.2.2 Sintesi dei dati LIDAR con le sezioni rilevate

L'operazione di fusione dei dati LIDAR con i dati rilevati ad hoc è stata eseguita attraverso le seguenti fasi:

- Importazione in HEC-RAS delle sezioni georiferite con passo 10m da LIDAR tramite GeoRAS;
- Inserimento delle sezioni rilevate e georiferite;
- Interpolazione spaziale delle sezioni rilevate mediante lo strumento presente in HEC-RAS: tale strumento può generare una o più sezioni intermedie tra due sezioni date, previa "associazione" di punti corrispondenti di ciascuna sezione di partenza (p.e. talweg, limite della golena, sommità arginale). In questo modo, per ciascuna sezione LIDAR si è ottenuto una verisimile descrizione della batimetria;
- Sovrapposizione delle sezioni corrispondenti e generazione della sezioni definitive. Nella fusione, si mantengono i dati LIDAR per le aree fuori acqua e la batimetria di rilievo per i punti in centro canale.

La procedura è illustrata in Figura 5.2 e Figura 5.3.

5.2.2.3 Ulteriori informazioni relative alle sezioni

La descrizione delle sezioni è completata con i seguenti elementi:

- Identificazione delle sommità arginali (*levees*), per indicare al software i limiti spaziali entro cui avviene il moto;
- Identificazione di eventuali aree di ristagno (*ineffective flow areas*), cioè zone che possono invasare acqua, ma nelle quali non vi è effettivo trasporto verso valle.

Per tutti i canali si sono utilizzati i dati geometrici ricavati secondo la procedura descritta, utilizzando la funzione disponibile in HEC-RAS per interpolare ulteriori sezioni laddove le esigenze di calcolo lo richiedessero. A titolo del tutto indicativo le massime distanze tra le sezioni sono state poste a 10 m.

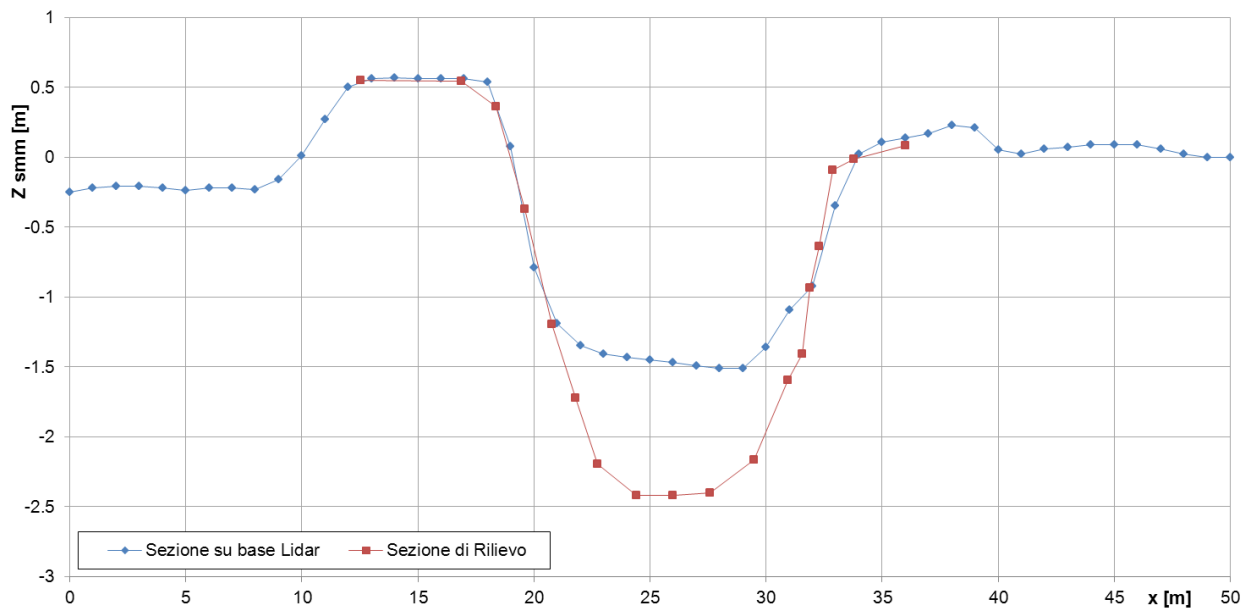


Figura 5.2. Sezione estratta dal rilievo LIDAR e sezione rilevata a confronto.

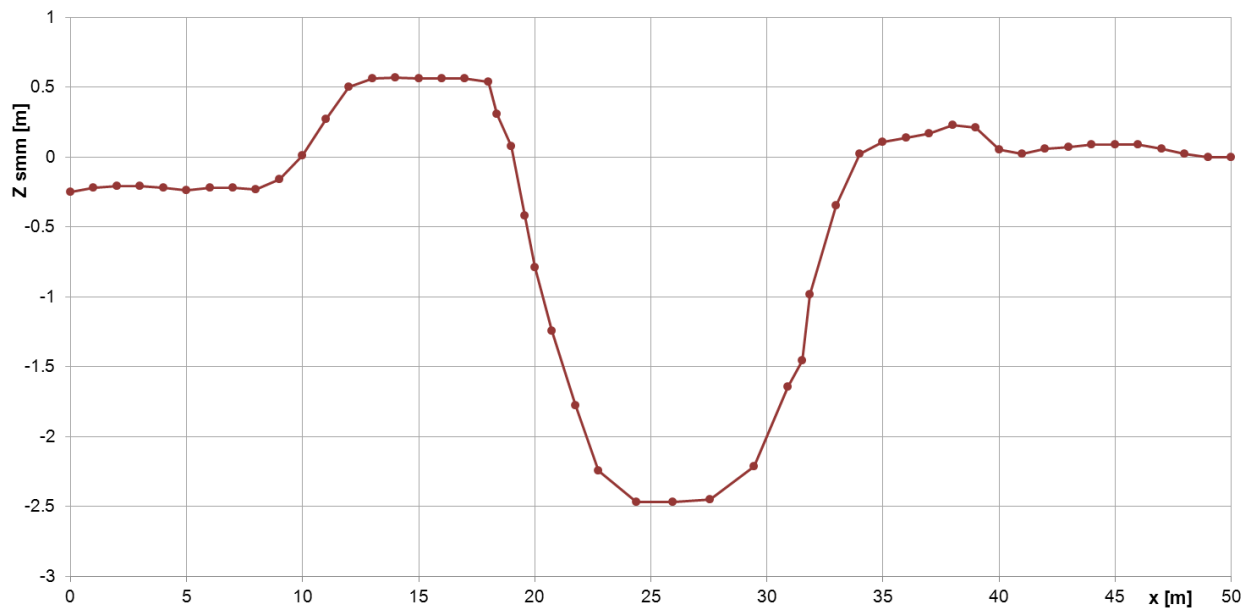


Figura 5.3. Sezione implementata nel modello HEC-RAS: interpolazione tra sezione LIDAR e sezione di rilievo.

La scabrezza dei canali è inserita nel modello specificando un coefficiente di Gauckler Strickler. Sapendo che tendenzialmente il valore del coefficiente di scabrezza aumenta con il valore della portata e interessati a simulare eventi di piena piuttosto che condizioni di morbida o magra, si è inizialmente attribuito ai collettori il valore più alto di ks tra i range di letteratura definiti per ogni tipologia di rivestimento. I valori di riferimento utilizzati nel modello e verificati poi in sede di calibrazione, sono pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per i collettori non rivestiti e a $50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le canalette in cls.

5.2.3 I manufatti idraulici

Di seguito si propone una sommaria descrizione dei principali manufatti idraulici inseriti nel modello idraulico dello stato attuale.

La configurazione attuale, impiegata per la calibrazione del modello, sarà poi implementata con ulteriori manufatti e tratti di collettori a rappresentare nel dettaglio i futuri scenari progettuali previsti in sede di Master Plan Idraulico e in parte già in corso di progettazione.

5.2.3.1 Ponti e tombotti

I corsi d'acqua rappresentati nel modello sono solcati da numerosi ponti e tombotti, la cui corretta descrizione geometrica deriva dal rilievo celerimetrico di campagna.

Nel complesso si sono rilevati ben 52 manufatti tra ponti e tombotti tutti implementati nel modello in HEC-RAS attraverso il modulo rappresentato alla successiva Figura 5.4.

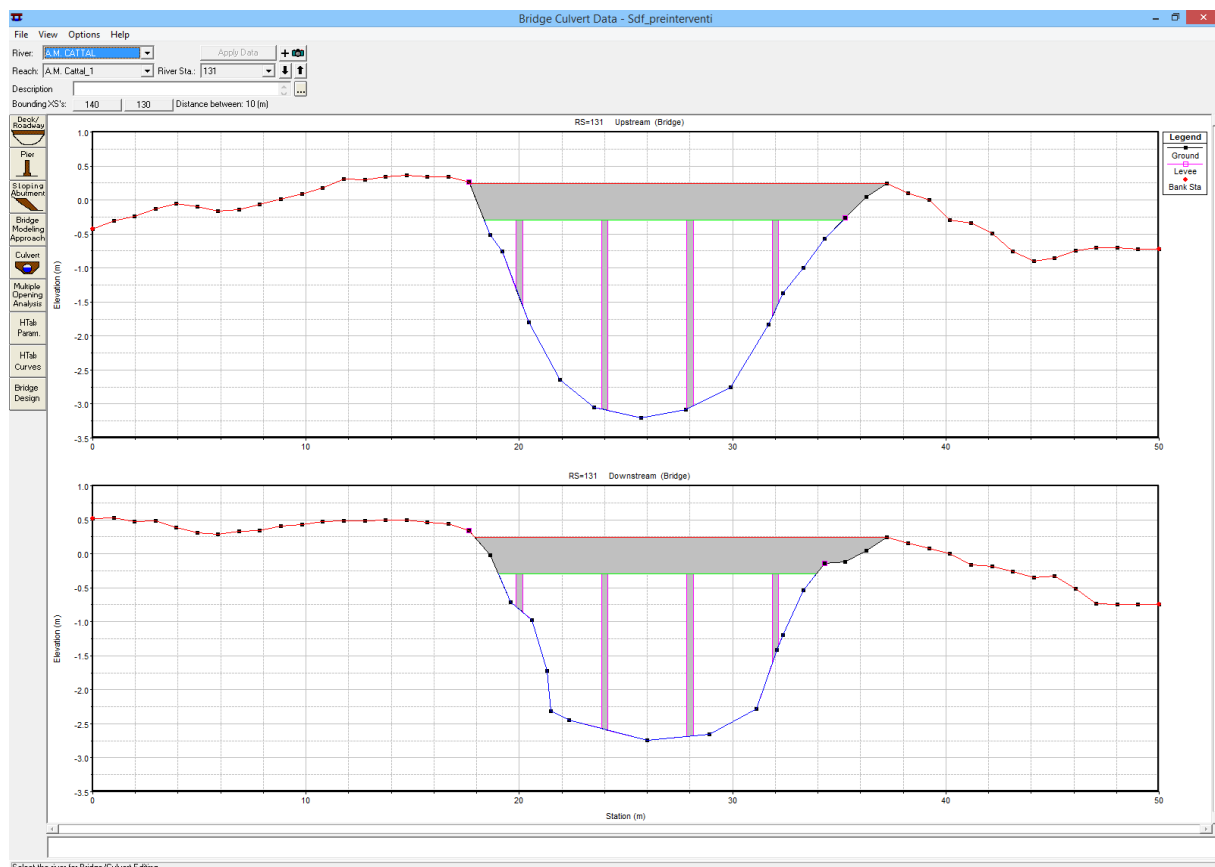


Figura 5.4. Modulo di inserimento dei ponti e dei tombotti in HEC-RAS, con la figura del ponte posto immediatamente a monte dell'idrovora Cattal sul collettore "Acque Medie Cattal".

Il modello HEC-RAS si presta bene a rappresentare le correnti a superficie libera che si sviluppano entro corsi d'acqua a sezione trapezia qualsiasi. Non esiste però uno specifico strumento per rappresentare condotte a sezione chiusa: tali opere possono essere descritte

pertanto in due modi, attraverso l'opzione del manufatto *culvert* (condotto sotterraneo) o attraverso l'uso di sezioni munite di *lid* (copertura).

L'opzione *culvert* consente di trattare il manufatto in forma unitaria, applicandovi la complessa teoria dei tombini e dei ponticelli: tale soluzione ben si adatta a descrivere il funzionamento di un tombotto o comunque di un tombinamento che si sviluppi al massimo per poche decine di metri. Volendo descrivere il funzionamento della rete entro il sedime aeroportuale, caratterizzata per lo più da tombinamenti dalle dimensioni che vanno dal centinaio di metri al chilometro o più, con intersezioni tra diversi collettori, salti di fondo e altre singolarità non descrivibili mediante l'impiego del *culvert*, si è optato per l'utilizzo delle sezioni con *lid*. In sostanza il manufatto viene descritto mediante normali sezioni a cielo aperto alle quali viene apposta la volta della botte. Tale scelta consente di variare sezione per sezione la luce delle canne, pur inducendo un maggior onere computazionale. Per descrivere correttamente il moto in pressione e le fasi transienti, il programma consente l'utilizzo del cosiddetto metodo di Preissmann, che ipotizza come stratagemma di calcolo la presenza sulla volta di una fessura, lungo la quale a mo' di piezometro possa innalzarsi il livello dell'acqua.

In corrispondenza alle condotte scatolari schematizzate come detto attraverso l'impiego del *lid*, il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler è stato posto pari a $50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Analogo valore di scabrezza è stato attribuito ai *culvert* impiegati per descrivere i tombotti, alle estremità di questi ultimi sono stati posti coefficienti di perdita di carico localizzata pari a 0.5 o 1 volta il carico cinetico, per ingresso o uscita.

5.2.3.2 Impianti di sollevamento

Come detto al Paragrafo 2.2 l'intero bacino in analisi è sotteso dall'idrovora Cattal che si divide in due settori: quello delle acque basse per complessivi $6,92 \text{ m}^3/\text{s}$ sollevabili e quello delle acque medie per totali $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Accanto a quest'impianto, si sono implementate nel modello altre due pompe, una dalla portata di 300 l/s in grado di trasferire le portate del collettore Pagliaga verso il mandracchio delle acque medie e una seconda da 150 l/s che dal sempre dal collettore Pagliaga immette le acque direttamente all'esterno del sistema ovvero nel fiume Dese.

Ai fini della schematizzazione di cui sopra si è fatto uso in HEC-RAS dell'apposita funzione *pump station*, con la quale il modello riproduce il funzionamento di un impianto di pompaggio. Per ciascuna idrovora, è necessario specificare uno o più gruppi pompa, intesi come insiemi omogenei di pompe con le medesime caratteristiche. Per ogni gruppo pompa

deve essere inserito il numero di pompe identiche, la curva prevalenza portata delle pompe e i livelli di attacco e stacco automatico di ciascuna pompa. In funzione dei livelli idrometrici a monte e a valle dell'impianto, il programma calcola così la sequenza di attivazione delle pompe e la portata presunta.

In merito alla curva prevalenza-portata, appare evidente che l'effettiva caratteristica di funzionamento delle pompe è un'informazione di progetto di non facile determinazione in questa fase. Si precisa dunque che in una fase preliminare dell'applicazione del modello idraulico, la variabilità di portata delle pompe è stata semplificata, introducendo curve di funzionamento "appiattite" sulla portata nominale prevista: in tal caso la portata sollevata dall'impianto non dipende dalla prevalenza e varia solo per gli attacchi e gli stacchi delle pompe. In una fase successiva, sono state ricostruite delle curve verosimili di funzionamento: si tratta comunque di valutazioni assai approssimative, trattandosi di pompe di grandi dimensioni e con significative prevalenze.

5.2.3.3 *Manufatti di regolazione*

Il principale manufatto di regolazione nella configurazione attuale della rete è rappresentato dalla paratoia di collegamento tra il mandracchio delle acque medie e quello delle acque basse (Figura 2.5). La sua manovra consente di trasferire le portate dal settore acque medie a quello delle acque basse modificando così il coefficiente udometrico dei due comparti del bacino. Tale dispositivo, il cui azionamento è a discrezione dell'operatore, consente di equilibrare il coefficiente udometrico di un comparto rispetto ad un altro ovvero migliorare la sicurezza idraulica di uno a sfavore dell'altro in funzione dei particolari caratteri dell'evento meteorico e delle specifiche esigenze di tutela.

5.3 **Definizione delle condizioni al contorno e delle condizioni iniziali**

Le informazioni richieste da HEC-RAS nei files di *unsteady flow data* comprendono le informazioni relative alle condizioni al contorno nelle sezioni di monte e di valle dei canali, ad eventuali apporti di portata localizzati o uniformemente distribuiti lungo un tratto di canale, ai criteri di funzionamento delle paratoie inserite in geometria.

Non richiedono condizioni al contorno le sezioni di monte e di valle dei tronchi in corrispondenza delle confluenze, dato che il modello vi applica automaticamente l'equazione di continuità e uno a scelta tra il bilancio dell'energia o il principio della quantità di moto.

Le forme di condizione al contorno previste da HEC-RAS per le sezioni di monte sono l'imposizione di serie temporali relative a portate o a livelli. Una terza alternativa prevede l'inserimento congiunto di una serie di livelli e di una serie di portate: al termine dei dati di livello, provenienti ad esempio in tempo reale da una stazione di misura, il programma prosegue il calcolo utilizzando i valori di portata, frutto ad esempio delle previsioni di piena di un modello idrologico.

Oltre alle alternative già descritte, le possibili condizioni al contorno in una stazione di valle sono l'indicazione di una scala delle portate o l'imposizione di un'altezza di moto uniforme corrispondente a una pendenza fissata. In entrambi i casi, si stabilisce un legame univoco tra quota idrometrica e portata in uscita, presupponendo d'altronde che la direzione di flusso non possa variare.

In molti casi, l'imposizione di una esplicita condizione al contorno può essere evitata collegando l'estremità di un tronco a una *storage area*. Sul bacino, infatti, il programma applica la condizione di conservazione dei volumi, per cui il bilancio netto degli apporti all'invaso induce uno specifico livello idrometrico, che vale come livello di monte o di valle del tronco. Il calcolo descritto, eseguito in forma implicita, corrisponde all'imposizione di una condizione al contorno per l'immissario o l'emissario della *storage area*.

5.3.1 Condizioni al contorno

Nel caso in esame, come condizione di monte si è scelto di utilizzare l'andamento delle portate nel tempo. Tuttavia, al fine di simulare i reali meccanismi di formazione dell'onda di piena, gli idrogrammi prodotti dall'analisi idrologica con HEC-HMS per ciascun sottobacino, non sono stati introdotti localmente nella sezione di monte di ciascun collettore bensì si è optato per un'immissione distribuita sfruttando la condizione al contorno *Lateral Inflow*. Così, accanto alle condizioni al contorno richieste obbligatoriamente dal software per la risoluzione delle equazioni, se ne sono introdotte numerose altre per un totale di 58.

A valle la condizione al contorno è rappresentata dal funzionamento dell'impianto idrovoro ed in particolare dalle quote di attacco e stacco delle pompe.

L'ultima condizione al contorno da imporre nella configurazione attuale del sistema è rappresentata dal meccanismo di funzionamento della paratoia di collegamento tra acque medie e acque basse. Con lo scopo di simulare le manovre dell'operatore, certo imprevedibili nella loro esattezza, sentito l'idrovorista ed il guardiano idraulico del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, si è imposta una apertura massima di 40 cm da iniziarsi quando il livello

idrico nel mandracchio delle acque medie raggiunge quota pari a -0.90 m s m.m. con una velocità assai ridotta e pari a 1 cm/minuto. La chiusura avviene con la stessa velocità quando il livello raggiunge i -1.15 m s m.m..

La successiva implementazione delle diverse soluzioni progettuali richiederà necessariamente l'imposizione di ulteriori condizioni al contorno secondo le modalità espresse nel presente paragrafo.

5.3.2 Condizioni iniziali di moto

Un'ulteriore sezione di *unsteady flow data* prevede le indicazioni relative alle condizioni iniziali: in questo ambito il programma calcola una situazione iniziale di moto permanente, per il quale è necessario fornire tronco per tronco le portate iniziali. La conoscenza completa dello stato della rete in uno specifico istante non è mai disponibile da misure e non è dunque possibile fornire condizioni iniziali del tutto affidabili. Va osservato però che tutte le simulazioni svolte hanno interessato periodi alquanto estesi e si sono fatte iniziare sufficientemente prima dell'inizio della piena. Il modello richiede alcune ore di simulazione per azzerare gli effetti e le imprecisioni di condizioni iniziali non completamente adeguate: a patto di considerare non significativi i dati relativi a un primo periodo di simulazione, generalmente non più lungo di qualche ora, le condizioni iniziali di moto risultano ininfluenti ai fini dei risultati e delle valutazioni conseguenti. Di norma pertanto si sono imposte le portate stimate all'istante zero della simulazione, senza ulteriori approfondimenti.

6 LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO

6.1 Il sedime aeroportuale: stato attuale e sviluppi in corso

La rete di scolo delle acque bianche a servizio dell'aeroporto è il risultato di una lunga sequenza di interventi sul territorio e sui collettori di bonifica.

L'area dell'aeroporto Marco Polo di Tessera si estende su una superficie di circa 300 ha sul margine occidentale della Laguna di Venezia. Essa è posizionata al confine tra l'area lagunare propriamente detta e una zona agricola, drenata dalla bonifica. Le superfici ora adibite ad aeroporto erano infatti in parte barene e in parte poderi.

Di tale sistemazione originale rimane traccia nella suddivisione tra aree che recapitano direttamente in laguna e aree che scolano nella rete di bonifica.

A titolo descrittivo, il margine tra le due zone ha origine presso la darsena-terminal a sud-ovest dell'aeroporto, divide il vicino piazzale aeromobili, raggiunge la pista di decollo e atterraggio e la percorre in mezzeria fino all'ultimo collegamento a nord-ovest con la taxiway; da qui raggiunge il ramo morto nord del canale Osellino.

Pertanto scolano in laguna le estremità della pista e, nella parte centrale, il lato sud-est, mentre gran parte delle taxiway e dei piazzali, tutta l'area dell'aerostazione, i parcheggi automobilistici, le aree a servizi trovano recapito in bonifica. L'area con scarico in laguna ha una superficie di circa 120 ha⁴, mentre trova recapito in bonifica un'area di circa 190 ha.

Tale area afferisce al collettore di bonifica Pagliaghetta, il cui bacino di circa 230 ha, sito interamente a sud est della SR 14 "Triestina", comprende anche aree agricole a margine del Canale Scolmatore del Marzenego e una parte delle Officine Aeronavali.

Il canale Pagliaghetta prima della realizzazione dell'aeroporto era interessato da portate modeste, raramente superiori a qualche centinaio di litri al secondo, e conseguentemente ha una sezione originaria assai ridotta, con larghezza di fondo di poco superiore al metro. Lo sviluppo del bacino avvenuto nel corso degli ultimi decenni ha portato a una sua cronica insufficienza e può comportare tuttora situazioni di crisi di tipo localizzato, interessando aree attualmente incolte non edificate e a minore giacitura, in sedime aeroportuale, e di tipo

⁴ Il dato è condizionato dal fatto di considerare o meno pertinenze in aree di barena

generalizzato nel sistema di bonifica di valle, già con riferimento ad eventi caratterizzati da tempo di ritorno di cinque anni.

In occasione delle trasformazioni del sedime aeroportuale degli anni '90, gli ingg. Aldo e Daniele Rinaldo redigevano una "*verifica idrologico-idraulica del sedime dell'aeroporto Marco Polo di Tessera Venezia e del sistema di sgrondo delle acque piovane*", datata giugno 1998. Tale lavoro verificava e orientava tutta la sistemazione idraulica del bacino di bonifica Cattal, il cui stato di crisi appariva evidente. L'obiettivo dello studio era quello di individuare un sistema di smaltimento delle maggiori portate generate dallo sviluppo aeroportuale, e dagli allora previsti sviluppi urbanistici dell'area di Tessera.

Le opzioni considerate in tale documento erano tre:

- recapito delle maggiori portate provenienti dall'aeroporto nel bacino di bonifica Cattal, attraverso un potenziamento dei collettori Pagliaghetta e Cattal Acque Medie e un corrispondente potenziamento dell'idrovora Cattal;
- recapito delle maggiori portate verso il canale Scolmatore del Marzenego, sul lato occidentale dell'aeroporto, con inversione della direzione di flusso del collettore Pagliaghetta e impianto di sollevamento presso l'abitato di Tessera;
- recapito diretto in laguna delle portate provenienti dall'Aeroporto, con la realizzazione alternativa di collettori lungo la SR 14 o lungo la taxiway lato nord e recapito nel ramo morto dell'Osellino mediante stazione di sollevamento.

Le tre opzioni erano studiate approfonditamente, tenendo conto anche dei costi presunti. La relazione giungeva alle seguenti conclusioni che appaiono tuttora condivisibili:

- la prima opzione risultava improponibile, perché richiedeva un adeguamento generale di tutto il sistema del bacino Cattal e comportava quindi opere estremamente onerose;
- la seconda opzione, richiedendo in ogni caso un impianto di sollevamento, risultava fattibile, ma comunque non si configurava come la migliore;
- la terza opzione risultava la più efficiente da un punto di vista tecnico, anche se comportava un nuovo recapito diretto di acque dolci in laguna di Venezia e conseguenti "*maggiori difficoltà in sede di istruttoria*".

Nell'aprile 1999, nell'ambito del Piano Guida Campalto, il Consorzio Dese Sile predisponendo una relazione relativa alla "*nuova configurazione della rete di smaltimento delle acque meteoriche dell'area di Tessera*". La soluzione proposta in tale studio risulta un ibrido tra la prima e la terza opzione. Le maggiori portate della rete aeroportuale, infatti, vengono

dapprima recapitate alla rete di bonifica attraverso il collettore Pagliagheta opportunamente ricalibrato. Per il collettore Acque Medie è previsto un risezionamento con larghezza di fondo di 4 m fino all'area dove oggi sorge il Casinò. Qui il progetto prevede la realizzazione di un nuovo canale, che recapiti le acque nel ramo morto nord del canale Osellino, mediante un impianto idrovoro della portata di 8 m³/s, predisposto per un possibile incremento a 16 m³/s.

Per tutta la rete oggetto d'intervento, il progetto prevede un approfondimento delle quote di fondo, che nel sedime aeroportuale è generalmente compreso tra 1.2 m e 1.5 m, e la predisposizione di una livelletta coordinata di fondo con pendenza di 20 cm/km.

Delle opere previste dai programmi del 1999 sono stati realizzati due interventi mentre un terzo, la "doppia canna" è in corso di realizzazione e potrà essere messa in funzione verosimilmente a metà del 2015.

Il primo intervento realizzato è il collettore a sezione scatolare sotto all'attuale piazzale aeromobili, posto sul sedime del collettore Pagliagheta. Tale collettore ha sezione 4.0 x 2.5 m ed è posto sulla livelletta di progetto delle nuove opere, con lo sbocco posto a quota -2.43 m s.m.m., mentre il fondo del canale Pagliagheta di valle è a -1.43 m s.m.m.. Esiste dunque allo sbocco del collettore un controsalto di circa 1.0 m, che fa sì che nel collettore stazioni permanentemente un significativo volume d'acqua. Se si esclude pertanto tale "volume morto", la luce disponibile nello scatolare ha un'altezza di circa 1.5 m.

Il secondo riguarda l'attraversamento della SR 14 del collettore Pagliagheta, recentemente realizzato dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive. Tale opera doveva realizzarsi con sezione scatolare 4.0 x 2.5 m, ma la necessità di realizzare dei pali di fondazione all'interno della luce per reggere la soletta del condotto ha indotto ad aumentare la larghezza a poco oltre 6 m, così da ottenere una larghezza netta equivalente. La quota di fondo del condotto è posta a -2.77 m s.m.m., ed è anche questa assai inferiore alla quota di scorrimento del canale esistente, posta a -1.54 m s.m.m.. Nell'attraversamento vi è dunque un controsalto di 1.23 m, con un invaso permanente di acqua nel condotto.

È evidente già dalle considerazioni proposte come fino al compimento del progetto nel suo complesso, l'efficacia del collettore risulta sensibilmente ridotta.



Figura 6.1. Vista dell'imbocco del manufatto di attraversamento della SR 14. Nell'immagine sotto si riconosce chiaramente il salto di fondo e il volume morto di acqua presente nella configurazione attuale. Per tale motivo, in piena risulta estremamente facile l'innalzamento dei livelli fin quasi alla sommità della luce.

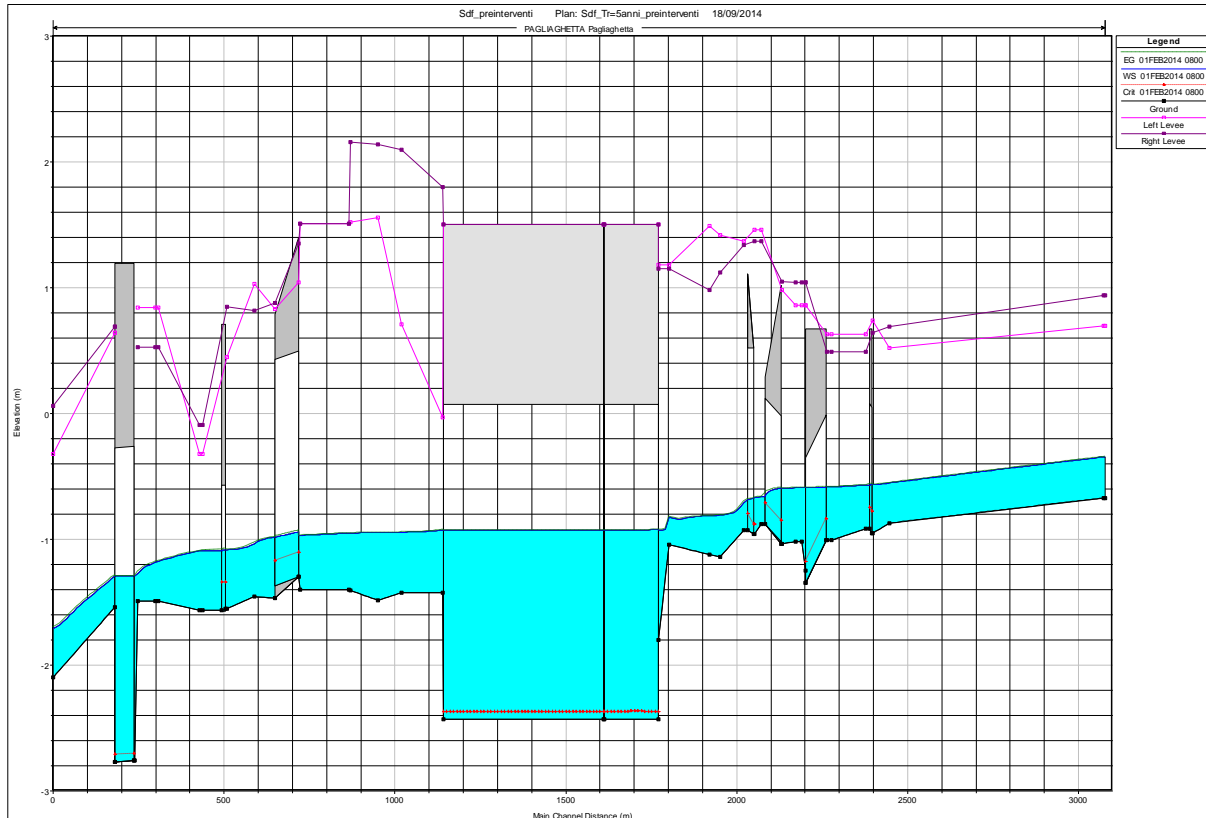


Figura 6.2. Profilo di magra del collettore Pagliaghetta. Si osservi il ristagno d'acqua nello scatolare del primo tratto e nell'attraversamento della SR 14, in corrispondenza dell'ascissa 200.

Quanto descritto può essere facilmente compreso osservando il profilo di magra del collettore Pagliaghetta (Figura 6.2: fino al completamento delle opere previste dal progetto degli anni '90, i collettori già realizzati resteranno sempre invasi per metà della loro altezza, trattenendo un volume morto che non è possibile vuotare a gravità.

Come accennato in precedenza è attualmente in esecuzione il progetto di completamento del "sistema di smaltimento delle acque meteoriche e di trattamento delle acque di prima pioggia incidenti all'interno del sedime aeroportuale di Venezia", il quale prevede la realizzazione di un collettore a doppia canna che colleghi direttamente il primo scatolare, sotto al piazzale aeromobili, con l'attraversamento della SR 14, contemplando anche la separazione delle acque di prima pioggia (vedi intervento 6.03 descritto al paragrafo 7.1.1.1).

Ma l'efficacia di tale intervento sarà garantita solamente dall'esecuzione del progetto di ricalibratura dell'ultimo tratto del collettore Pagliaghetta e del collettore delle Acque Medie Cattal, fino al nuovo manufatto di diversione e sollevamento delle portate in Osellino o quantomeno sino alla cassa di espansione (MP01 degli interventi previsti in sede di Master Plan Idraulico). In caso contrario, tutte le portate in uscita dall'aeroporto non potranno essere allontanate dall'area e produrranno in ogni caso allagamenti per rigurgito sia nell'area aeroportuale, sia nelle zone più basse del bacino Cattal oltre la Triestina.

6.2 La calibrazione del modello idrologico-idraulico

Come descritto al precedente paragrafo la rete idraulica del sedime aeroportuale è in rapida e continua evoluzione. Volendo riferire le analisi ad una configurazione “stato di fatto” è conveniente considerare lo stato approvato che vede già realizzata la doppia canna che collega lo scatolare 4.0 x 2.5 m posto sotto i piazzali con il manufatto di attraversamento della Strada Statale Triestina.

Se da un lato questa configurazione deve essere presa a riferimento per valutare gli effetti dei futuri interventi sul regime idraulico del sistema, dall’altro non si può considerare utile ai fini della calibrazione del modello idrologico-idraulico in quanto, realizzandosi verosimilmente a partire dalla metà del 2015, rappresenta una configurazione per la quale non esistono serie storiche da impiegarsi come riferimento per la calibrazione.

La procedura di calibrazione del modello, per le ragioni espresse, è stata eseguita a partire dalla configurazione che vede l’assenza della doppia canna (Figura 6.3).



Figura 6.3. Rete di collettori entro il sedime aeroportuale implementati nel modello idraulico nella configurazione impiegata per la calibrazione.

Con riferimento al bacino Cattal non sono disponibili misure di livello o di portata in nessuna sezione della rete. Non avendo nemmeno a disposizione il grafico di funzionamento delle pompe non è stato possibile procedere ad una calibrazione in senso canonico del modello idrologico-idraulico. Per tarare i diversi parametri del modello sarebbe infatti

necessario confrontare i risultati ottenuti attraverso le simulazioni in termini di livello e di portate con quelli misurati con riferimento ad un dato evento meteorico.

Non avendo a disposizione alcuna misura in tal senso, diviene necessario individuare una procedura che consenta in qualche modo di verificare l'affidabilità in termini predittivi del modello idrologico-idraulico implementato.

Si è così deciso di calibrare il modello individuando quella particolare combinazione di parametri che consentisse al modello idraulico di interpretare al meglio le criticità della rete sulla base dei riscontri reali delle insufficienze. In particolare, in occasione del rilievo, sono state eseguite numerose interviste ai proprietari dei fondi situati in prossimità dei collettori principali, al fine di determinare da un lato l'entità degli allagamenti e dall'altro la frequenza con la quale questi si venivano a manifestare. I risultati ottenuti, suffragati anche dai riscontri degli addetti alla guardiania e degli operatori del Consorzio di bonifica Acque Risorgive, sono graficamente rappresentati alla Figura 6.4 e interpretano tutte quelle insufficienze caratterizzate da una frequenza probabile molto elevata e quindi da un T_r che convenzionalmente si può assumere pari a 5 anni.

Sfruttando la procedura qualitativa indicata sommariamente in precedenza, i parametri tarati del modello idrologico implementato in HEC-HMS sono riportati alla Tabella 6.1.

Per la verità è da sottolineare come gli unici parametri che sono stati variati durante la procedura di calibrazione del modello sono stati il *Time of Concentration* e lo *Storage Coefficient* del modello di Clark. I valori del parametro CN del modello SCS-CN sono stati invece calcolati preventivamente secondo la procedura che si riporta nel dettaglio al successivo paragrafo.

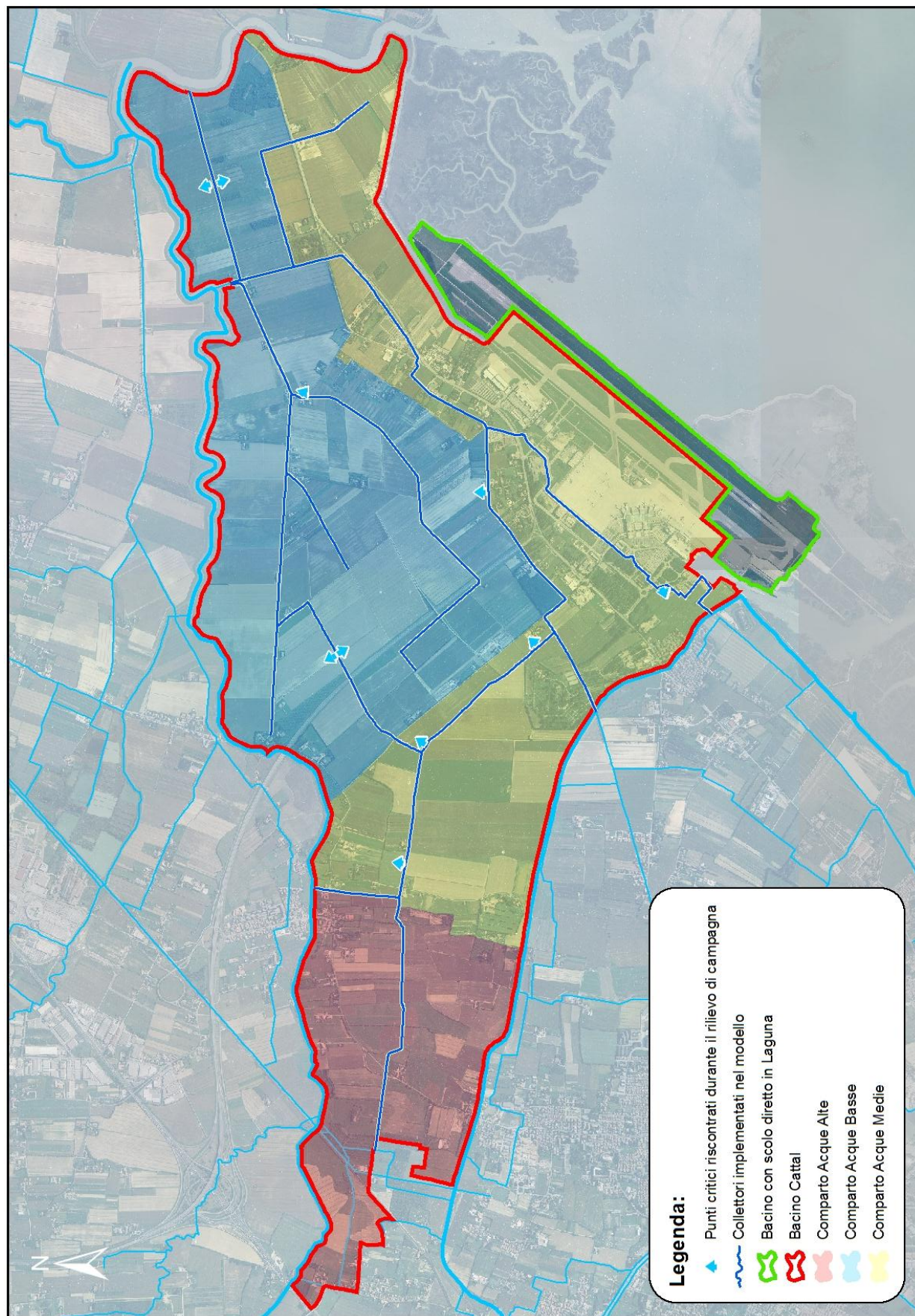


Figura 6.4. Punti critici riscontrati durante il rilievo di campagna.

Tabella 6.1. Collettori del bacino Cattal rappresentati nel modello HEC-RAS. Valori dei parametri del modello idrologico nello Scenario 0: configurazione preinterventi.

COLLETTORE	SUPERFICIE AFFERENTE [km ²]	CLARK TRANSFORM		CURVE NUMBER LOSS
		TIME OF CONCENTRATION [hr]	STORAGE COEFFICIENT [hr]	CN
01-Pagliaga	1.335	2.111	10.556	76.4
02-Altinate	1.247	2.379	11.897	75.1
03-Ca' Solaro	0.586	1.833	9.167	75.6
04-Acque Alte Cattal	2.478	2.500	12.500	76.7
05-Acque Medie Cattal	2.519	3.131	15.653	77.1
06-Acque Medie Cattal	0.600	1.522	7.611	77.2
07-Acque Medie Cattal	0.166	0.789	3.944	78.8
08-Acque Medie Cattal	0.219	0.900	4.500	74.6
09-Acque Medie Cattal	0.551	1.186	5.928	75.0
10-Acque Medie Cattal	0.591	1.467	7.333	75.4
11-Canaletta Irrigua	1.209	2.223	11.117	77.6
12-Fornasotti	1.107	1.204	6.022	77.5
13-Collettore Cattal	2.272	2.571	12.856	77.3
14-Acque Basse Cattal	0.751	2.079	10.394	77.9
15-Acque Basse Cattal	0.987	1.771	8.853	77.9
16-Collettore Pagliaghetta	0.331	1.541	7.703	77.5
17-Collettore Pagliaghetta	0.176	1.467	7.333	75.8
18-Collettore Pagliaghetta	0.358	0.917	2.750	82.0
19-Collettore Pagliaghetta	0.331	0.861	2.583	81.6
20-Collettore Pagliaghetta	0.202	0.894	3.041	76.8
21-Collettore Pagliaghetta	0.766	1.500	4.500	78.8
22-Collettore Pagliaghetta	0.140	0.900	3.060	82.4
23-Collettore Pagliaghetta	0.020	0.700	2.380	68.5

6.2.1 L'attribuzione del CN ai sottobacini

I meccanismi di scorrimento ed infiltrazione dell'acqua nel terreno, la cui conoscenza risulta indispensabile per la comprensione della risposta idrologica di un bacino ad eventi di precipitazione, sono descritti da equazioni di bilancio del contenuto medio dell'acqua nel suolo. Le ipotesi alla base della risoluzione di tali equazioni ed i metodi di calcolo caratterizzano i numerosi modelli di infiltrazione noti in letteratura idrologica.

I meccanismi secondo cui la precipitazione che raggiunge il suolo si ripartisce in una componente che si infiltra nel terreno ed in una componente che defluisce superficialmente

possono seguire due schemi diversi: il meccanismo di Horton ed il meccanismo di Dunne. Nel primo caso il superamento della capacità di infiltrazione del terreno, caratteristica del suolo ad ogni istante temporale e decrescente nel tempo, determina la frazione di precipitazione che si infiltra e quella che va a costituire il deflusso superficiale. Secondo lo schema di Dunne invece, il deflusso superficiale si suppone generato da un eccesso di saturazione del suolo, dovuto all'innalzamento della superficie di falda.

Il metodo del CN, messo a punto dal Soil Conservation Service (SCS) statunitense, costituisce un modello di calcolo della componente di deflusso superficiale caratteristica di un evento di precipitazione da adoperarsi nello studio delle piene di piccoli bacini rurali, particolarmente per quelli non dotati di strumenti di misura.

Il modello SCS-CN è un modello empirico che considera entrambi i meccanismi di infiltrazione descritti in precedenza: a partire dall'istante in cui la precipitazione supera un valore iniziale di volume invasabile nel terreno si inizia ad osservare deflusso superficiale. La massima quantità d'acqua infiltrabile nel terreno limita asintoticamente il valore della portata defluita, definita per ogni istante di calcolo dall'afflusso meteorico depurato del volume iniziale infiltrato e della massima capacità di infiltrazione del terreno.

La quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno che definisce la relazione tra afflussi e deflussi in un bacino idrografico può essere descritta attraverso un parametro noto in letteratura ('*curve number*', di seguito CN) in cui sono sinteticamente contenute le informazioni relative alla capacità di infiltrazione del terreno (quattro classi di permeabilità), le informazioni relative allo stato di imbibizione del terreno (classi AMC) e le informazioni relative alla copertura di suolo.

Secondo lo schema descritto i suoli sono divisi in tre classi, per quanto riguarda l'insieme delle condizioni del suolo (tipologia di destinazione d'uso, trattamento della superficie e condizioni di drenaggio) ed in base a quattro gruppi, per quanto riguarda la capacità di infiltrazione del terreno.

I suoli costituiti principalmente da sabbie e ghiaie di notevole spessore sono caratterizzati da drenaggio buono o alto e presentano un tasso d'infiltrazione elevato anche in condizioni di notevole imbibizione (classe A, suoli a basso potenziale di scorrimento). La classe B di suoli è caratterizzata da una tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con un drenaggio da moderatamente buono a buono ed un tasso d'infiltrazione moderato in condizioni d'imbibizione elevata. I terreni poco permeabili rientrano nelle classi C e D. I

terreni di classe C sono costituiti da suoli con tessitura da moderatamente fine a fine e presentano un basso tasso di infiltrazione; i terreni di classe D caratterizzati da tasso di infiltrazione molto basso, comprendono principalmente suoli argillosi ad alto potenziale di rigonfiamento o terreni caratterizzati da piccoli spessori giacenti su materiale pressoché impermeabile.

I valori del parametro CN si riferiscono a tre diverse condizioni di umidità del terreno definite condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Condition, AMC) l'evento di pioggia. La categoria AMC-I caratterizza i suoli sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o una coltivazione soddisfacente e che abbiano perciò un potenziale di scorrimento superficiale minimo; la categoria AMC-II rappresenta la condizione media di umidità del terreno e a tale situazione si fa riferimento per l'attribuzione dei valori di CN. Infine la categoria AMC-III contempla la condizione in cui i terreni siano praticamente saturati dalle precedenti piogge e in tale situazione il potenziale di scorrimento superficiale risulta massimo.

Una volta assegnati, sulla base di valori di letteratura, i CN della categoria AMC-II, è possibile determinare, attraverso delle relazioni analitiche, i valori di CN riferibili alle rimanenti due categorie. La categoria a cui fare riferimento per l'applicazione del modello è individuata in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti l'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o di riposo).

Sulla base delle considerazioni qui esposte si è proceduto a definire, secondo la letteratura vigente, i valori del parametro CN in condizioni medie di umidità del terreno (AMC-II) per le diverse tipologie di suoli presenti nel territorio allo studio.

Come le tipologie di classi di suolo sono spazialmente distribuite così anche le informazioni relative alla destinazione d'uso dei terreni tratte dalla carta d'Uso del Suolo della Regione Veneto (Figura 6.5); l'intersezione delle cartografie descritte ha quindi permesso di ottenere delle nuove unità cartografiche di maggior dettaglio definite da proprie caratteristiche di suolo e di utilizzo.

A partire dai valori di permeabilità medi calcolati come esposto in precedenza, a ciascuna unità elementare cartografica è stata associata una classe di permeabilità SCS (gruppi A, B, C, D); tale informazione, unita alla destinazione d'uso del suolo, ha permesso di attribuire un valore di CN a ciascuna unità cartografica.

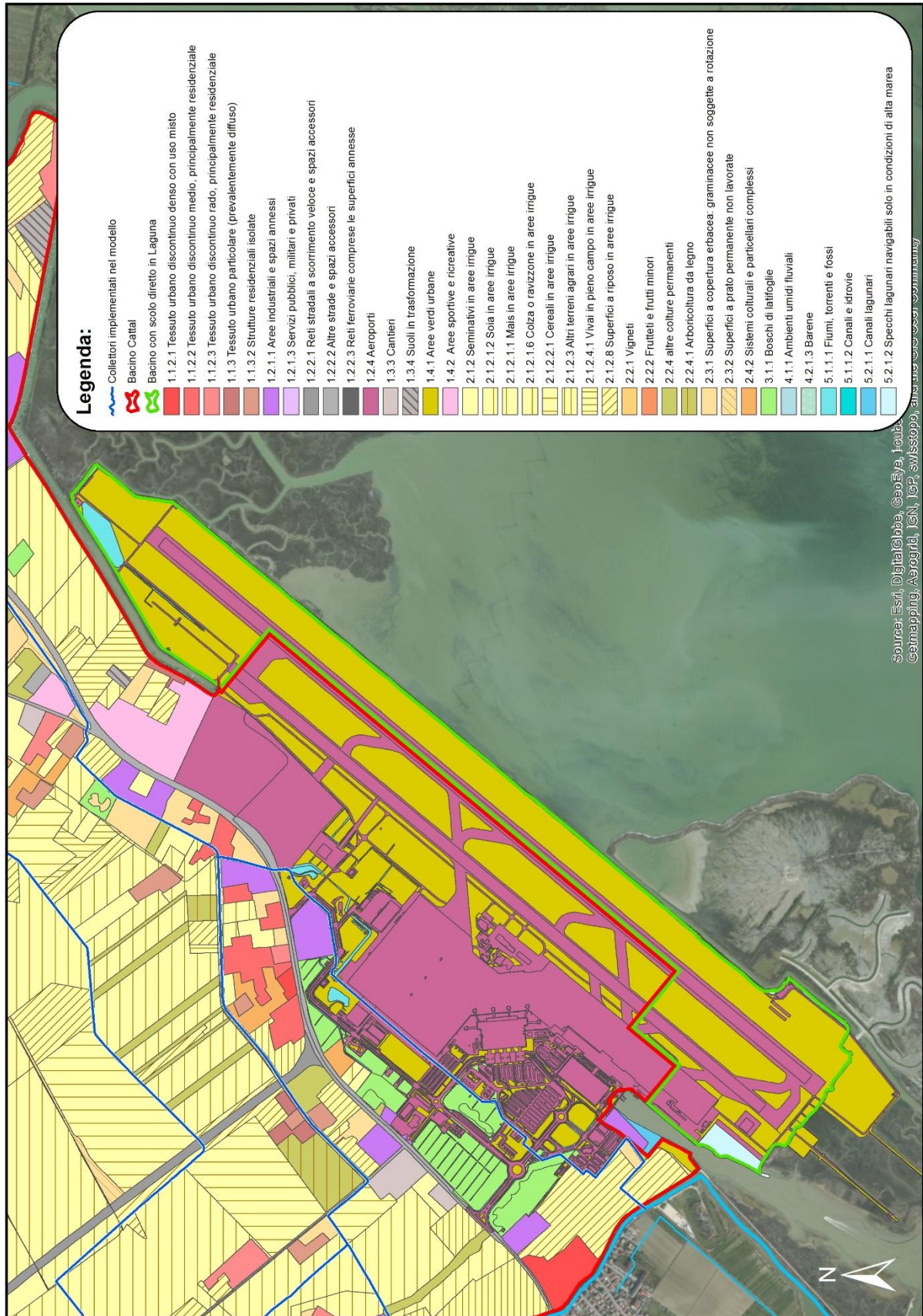


Figura 6.5. Rappresentazione delle classi di uso del suolo nel bacino Cattal. A partire dalla Carta della copertura dei suoli del Veneto è stata eseguita un'analisi di dettaglio entro il sedime aeroportuale al fine di seguire con maggior fedeltà gli sviluppi futuri previsti in sede di Master Plan.

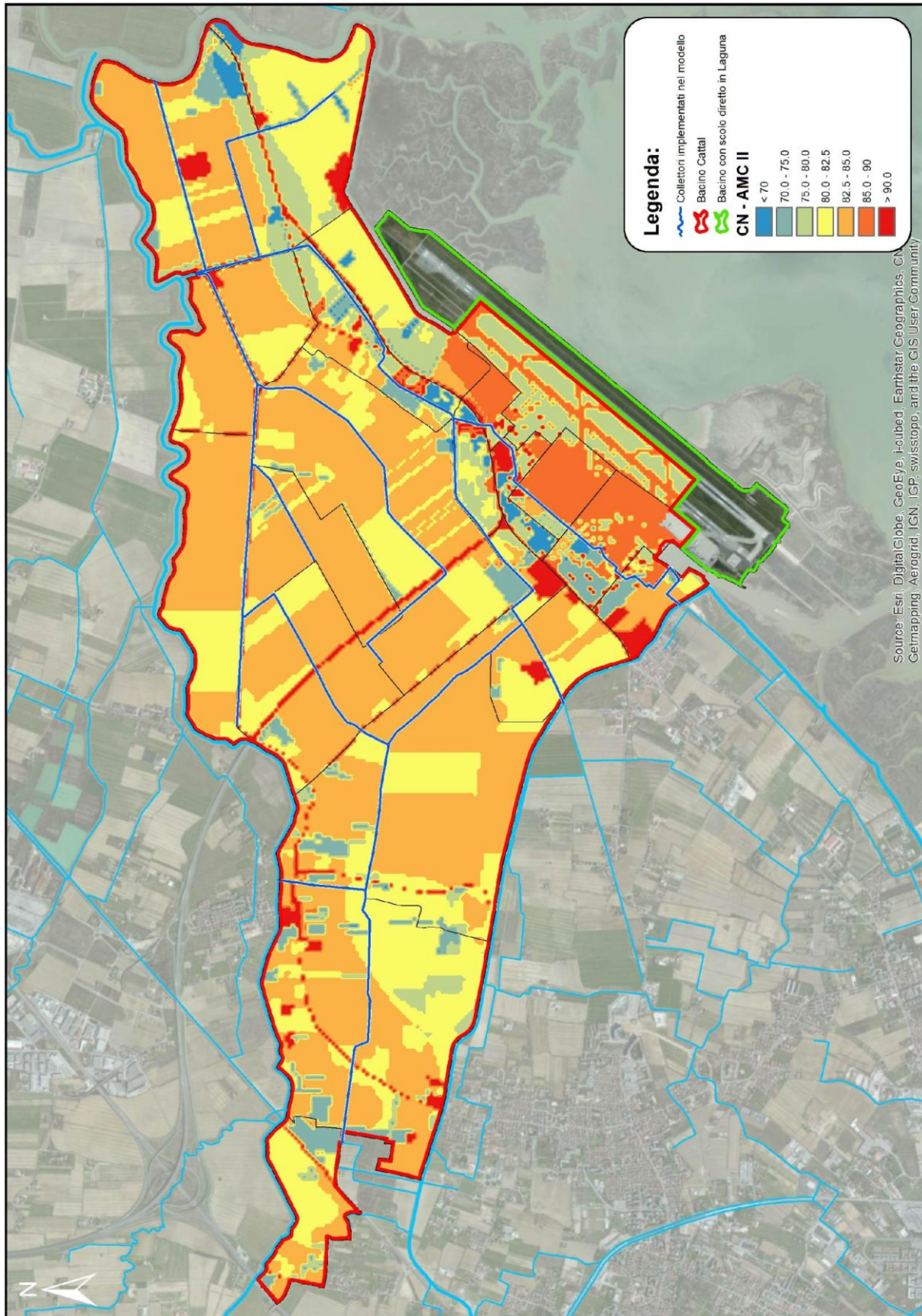


Figura 6.6. Rappresentazione del parametro CN – AMC II all'interno del bacino Cattal corretto in base alla pendenza.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza (Figura 4.5).

Il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno standard del 5%, che non possono essere attribuite ai territori di bonifica i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0,1% (i comprensori di bonifica del Veneto hanno per l'80% circa una pendenza inferiore al 5%). Il valore di CN in condizioni medie di saturazione del terreno è stato quindi corretto sulla base delle considerazioni espone sopra (Figura 6.6). Calcolando a questo punto una media dei valori di CN calcolata su ciascun sottobacino si ottengono i valori riportati alla successiva Tabella 6.2.

Con specifico riferimento al problema in analisi, il modello idraulico vede implementati esclusivamente i collettori principali a gestione consortile che di fatto rappresentano solo una parte del più complesso sistema di smaltimento delle acque meteoriche.

È del tutto evidente come il non simulare la rete secondaria e di prima raccolta se da un lato non genera alcun problema sotto il profilo dell'analisi idraulica della rete oggetto di studio, dall'altro porta inevitabilmente a trascurare quell'effetto di laminazione generato dai volumi che questa rete mette in gioco all'interno dell'intero sistema idraulico del bacino Cattal. Questo effetto diviene del tutto non trascurabile quando si vadano ad analizzare nel dettaglio i caratteri geometrici della rete secondaria che presenta, almeno con riferimento al comparto di bonifica, dimensioni in sezione del tutto confrontabili con quelle della rete oggetto di modellazione. Nell'ambito aeroportuale poi è schematizzato soltanto il collettore Pagliaghetta trascurando invece nella modellazione tutta la fitta rete, per lo più intubata, a servizio delle urbanizzazioni che nel tempo sono andate (e andranno riferendoci agli scenari futuri) ad occupare le superfici del comparto.

Non considerare tali volumi porta inevitabilmente ad una sovrastima delle portate generate da ciascun sottobacino e determinate mediante modellazione con HEC-HMS. La soluzione individuata al fine d'interpretare l'effetto di laminazione prodotto dalla rete non implementata nel modello idraulico, consiste nel concettualizzare il significato del parametro CN del modello SCS-CN. Esso infatti descrive in modo sintetico la frazione di pioggia che si trasforma in afflusso alla rete ovvero, quasi banalizzando, il volume d'acqua che precipitato transita attraverso la sezione di chiusura del bacino. Ebbene concettualizzare il significato di tale parametro abbassandolo convenientemente a simulare l'effetto dei volumi invasati lungo la rete secondaria, porta ad una riduzione del picco degli idrogrammi di piena generati da ciascun sottobacino.

Imponendo un volume d'invaso distribuito pari a $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ per il comparto non urbanizzato e uguale a $70 \text{ m}^3/\text{ha}$ per le aree urbanizzate, l'entità dell'abbassamento del parametro CN è stata ricercata in modo iterativo individuando per ciascun sottobacino quel particolare valore che sottratto al CN, calcolato secondo la procedura teorica descritta al precedente paragrafo, generasse un abbassamento dell'idrogramma tale per cui il volume differenza (cioè il volume sotteso dalla differenza tra le due curve) coincidesse con la stima del volume invasato dalla rete secondaria.

A mero titolo d'esempio si riporta in Figura 6.7 il grafico ottenuto mediante la procedura iterativa citata per il sottobacino "23 - Collettore Pagliaghetta".

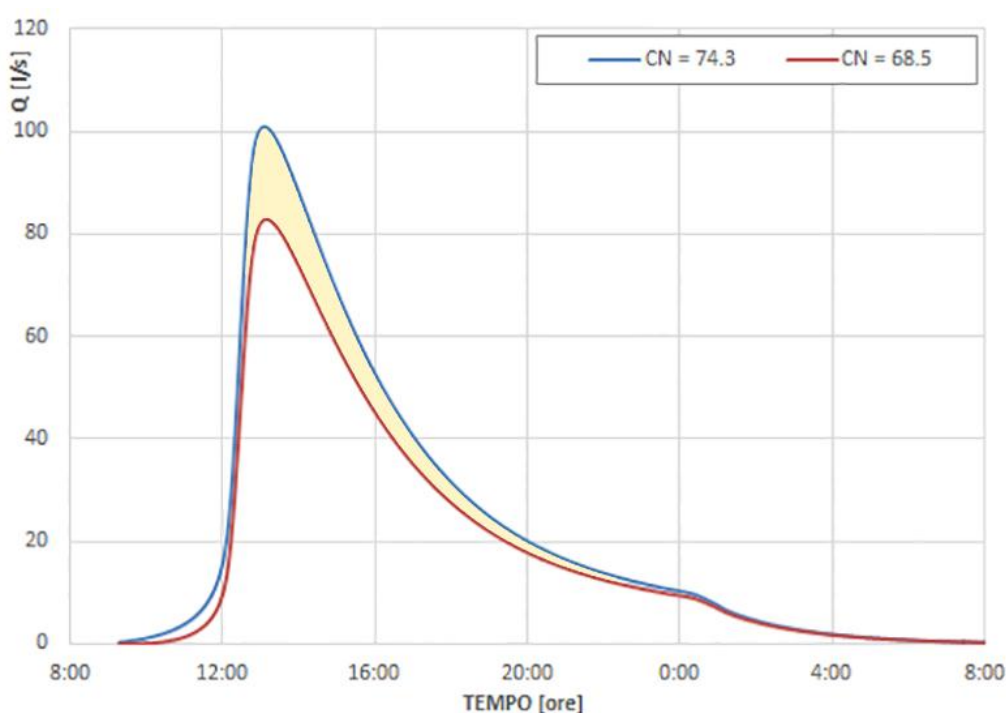


Figura 6.7. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "23 - Collettore Pagliaghetta" per i valori di CN prima e dopo la correzione. L'area in giallo rappresenta il volume invasato lungo la rete minore e non schematizzata nel modello idraulico ($150 \text{ m}^3/\text{ha}$ per le aree non urbanizzate e $70 \text{ m}^3/\text{ha}$ per le aree urbanizzate).

Procedendo per ciascun sottobacino secondo le indicazioni riportate si sono ottenuti i risultati rappresentati alla Tabella 6.2. Emerge chiaramente come la riduzione da apportare al valore di CN sia praticamente costante in funzione del volume specifico d'invaso imposto. L'entità della riduzione è pari a 5,5 e a 2,8 rispettivamente per le aree non urbanizzate ove si sia imposto un volume specifico d'invaso di $150,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ e per le aree urbanizzate caratterizzate da un volume specifico uguale a $70 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Tabella 6.2. Collettori del bacino Cattal rappresentati nel modello HEC-RAS.
 Valori del parametro CN nello Scenario 1: configurazione al 2016.

COLLETTORE	SUPERFICIE AFFERENTE	CN	CN _{corretto}
------------	----------------------	----	------------------------

	[km ²]		
01-Pagliaga	1.335	81.9	76.4
02-Altinate	1.247	80.6	75.1
03-Ca' Solaro	0.586	81.1	75.6
04-Acque Alte Cattal	2.478	82.2	76.7
05-Acque Medie Cattal	2.519	82.6	77.1
06-Acque Medie Cattal	0.600	82.7	77.2
07-Acque Medie Cattal	0.166	84.3	78.8
08-Acque Medie Cattal	0.219	80.1	74.6
09-Acque Medie Cattal	0.551	80.5	75.0
10-Acque Medie Cattal	0.591	80.9	75.4
11-Canaletta Irrigua	1.209	83.1	77.6
12-Fornasotti	1.107	83.0	77.5
13-Collettore Cattal	2.272	82.8	77.3
14-Acque Basse Cattal	0.751	83.4	77.9
15-Acque Basse Cattal	0.987	83.4	77.9
16-Collettore Pagliagheta	0.331	83.0	77.5
17-Collettore Pagliagheta	0.176	78.6	75.8
18-Collettore Pagliagheta	0.358	84.8	82.0
19-Collettore Pagliagheta	0.331	84.4	81.6
20-Collettore Pagliagheta	0.202	79.6	76.8
21-Collettore Pagliagheta	0.766	81.6	78.8
22-Collettore Pagliagheta	0.140	85.2	82.4
23-Collettore Pagliagheta	0.020	74.3	68.5

6.2.2 Risultati della calibrazione

Nel presente paragrafo si vogliono rappresentare i risultati ottenuti in sede di calibrazione del modello idrologico e idraulico eseguita a partire dalla configurazione che chiameremo “preinterventi”.

6.2.2.1 Il modello idrologico

Gli idrogrammi di piena generati da ciascun sottobacino e determinati mediante l’impiego del modello idrologico HEC-HMS con i parametri definiti alla Tabella 6.1, sono riportati alle successive Figura 6.8 e Figura 6.30 con riferimento ai diversi tempi di ritorno considerati.

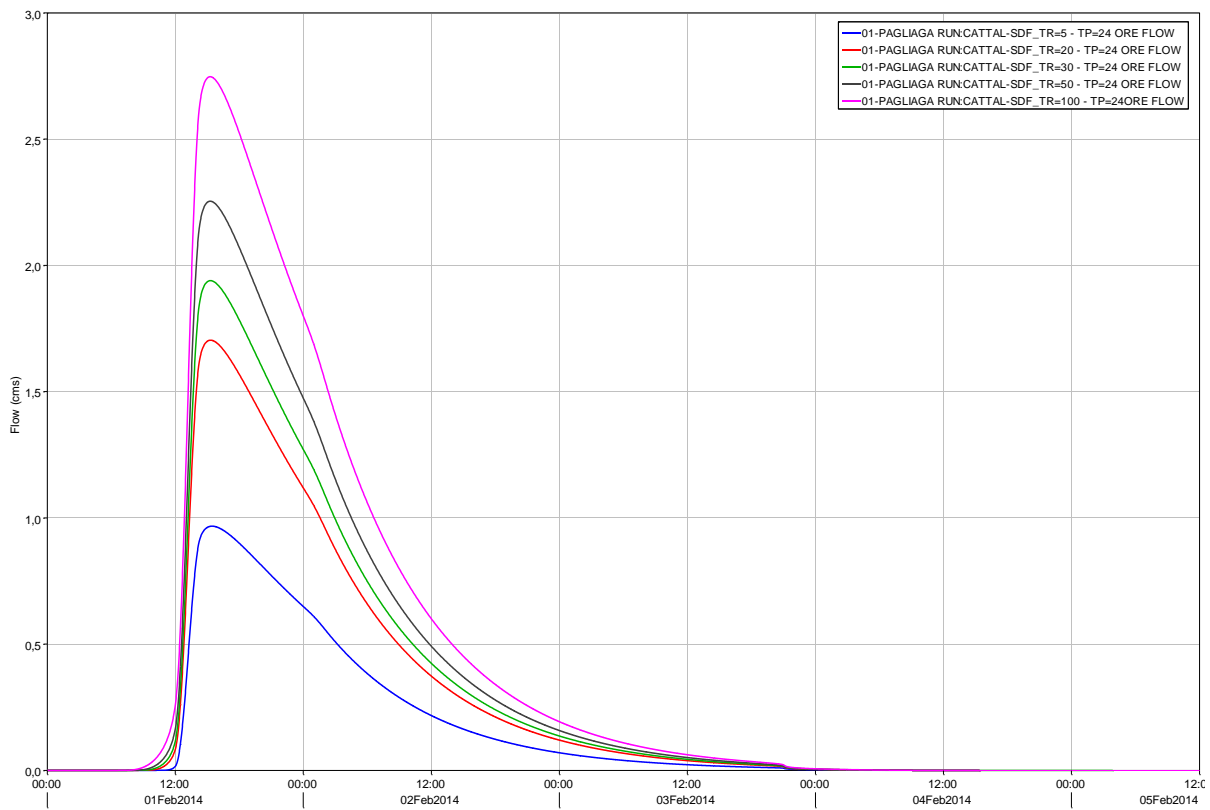


Figura 6.8. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "01 - Pagliaga".

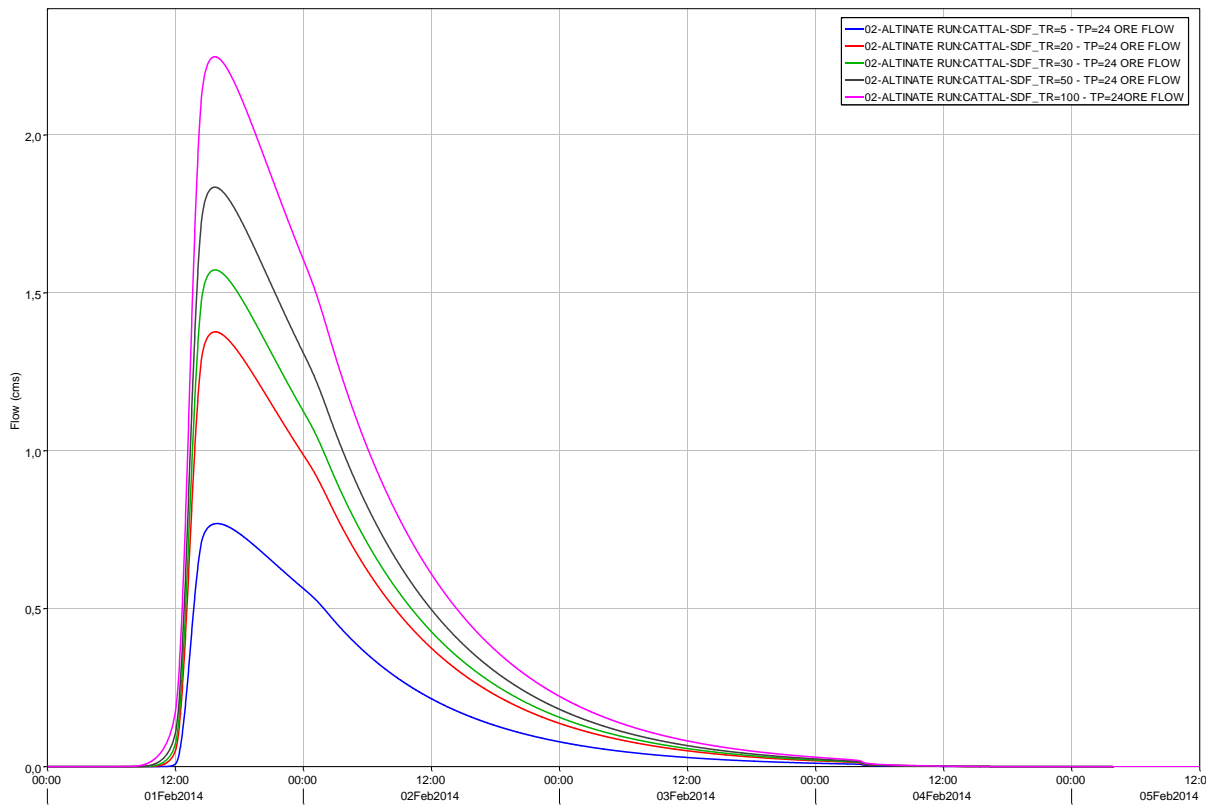


Figura 6.9. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "02 - Altinate".

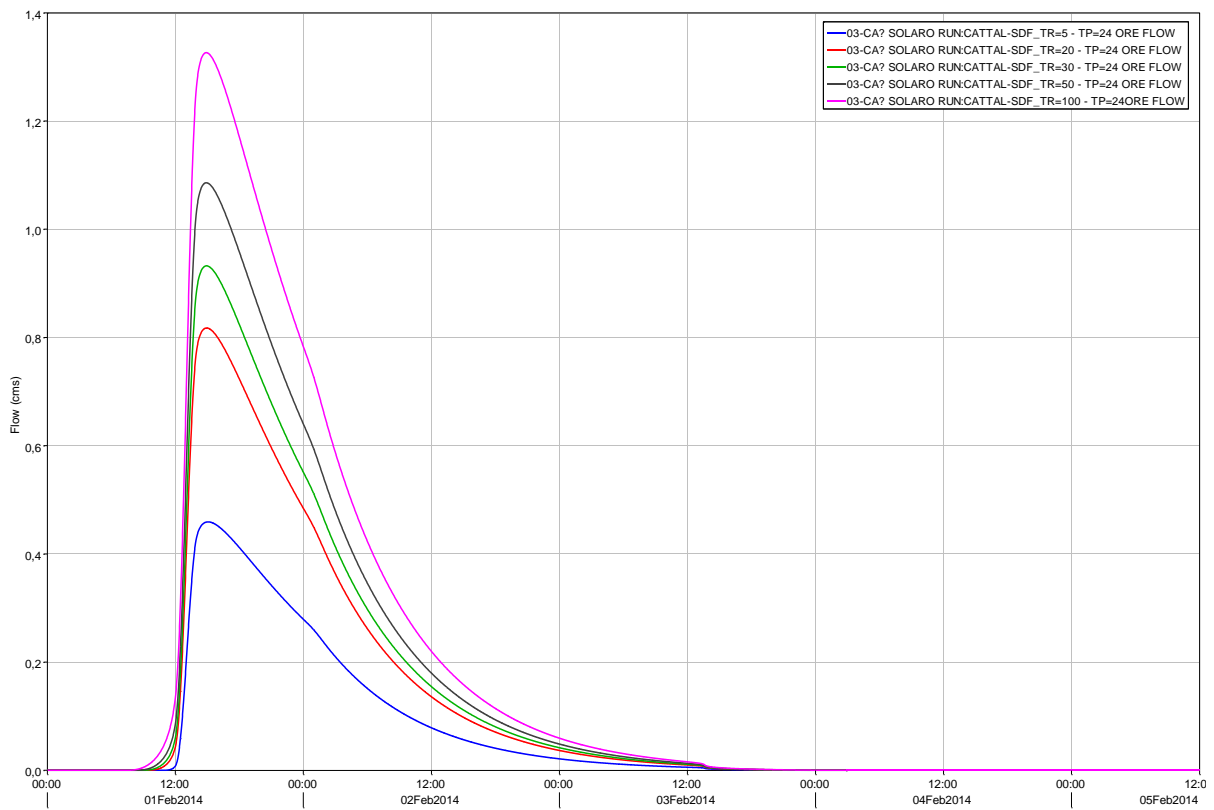


Figura 6.10. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "03 - Cà Solaro".

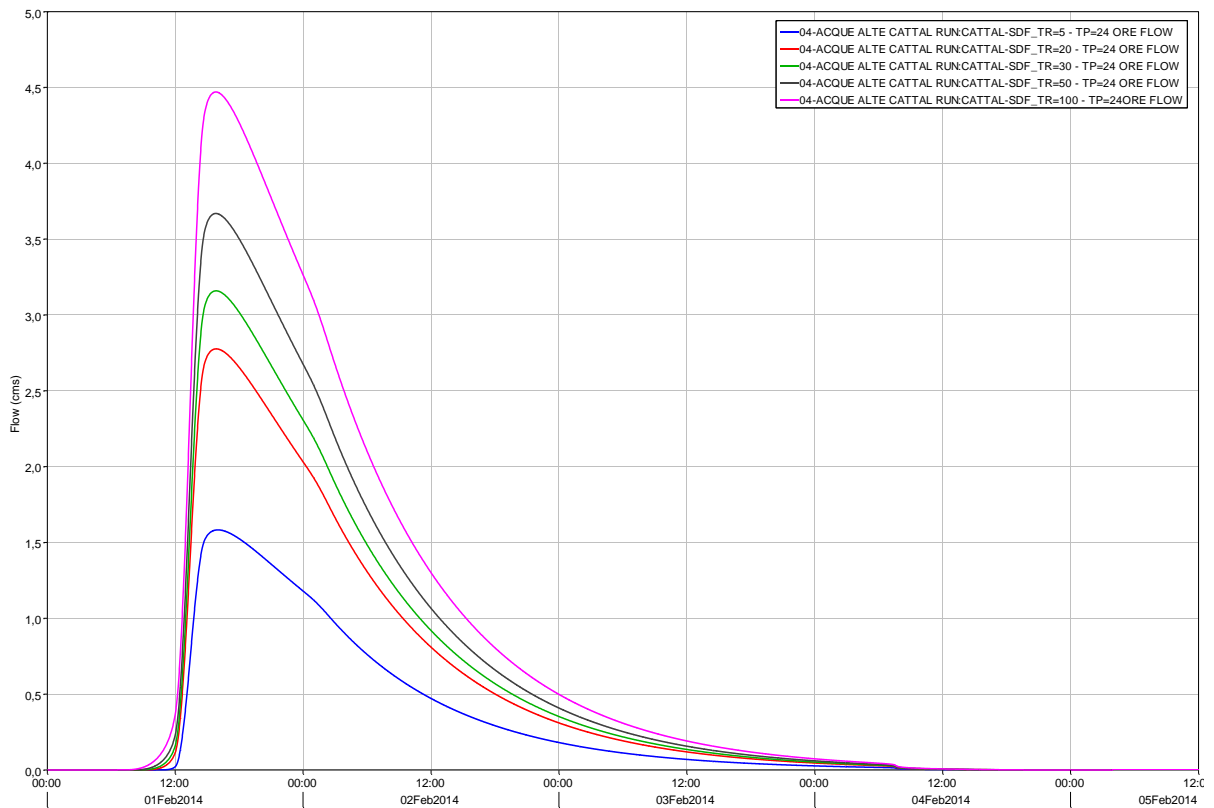


Figura 6.11. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "04 - Acque Alte Cattal".

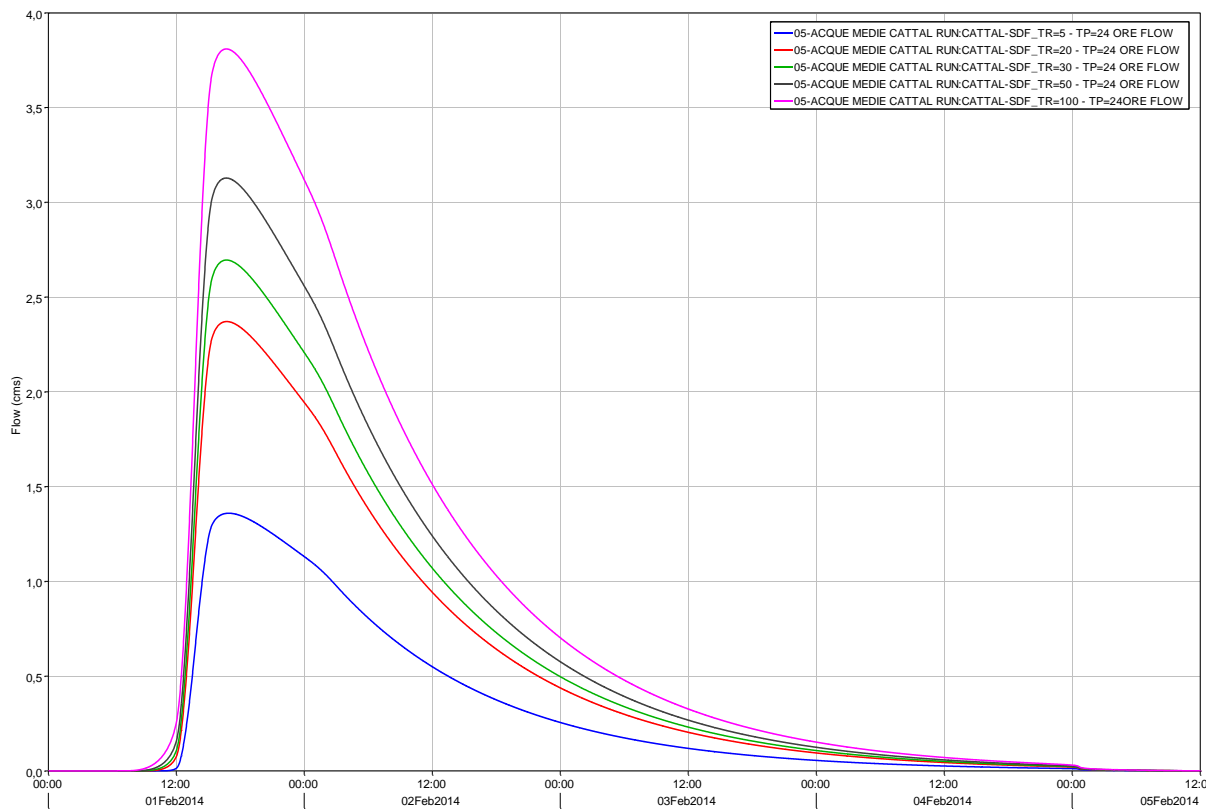


Figura 6.12. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "05 - Acque Medie Cattal".

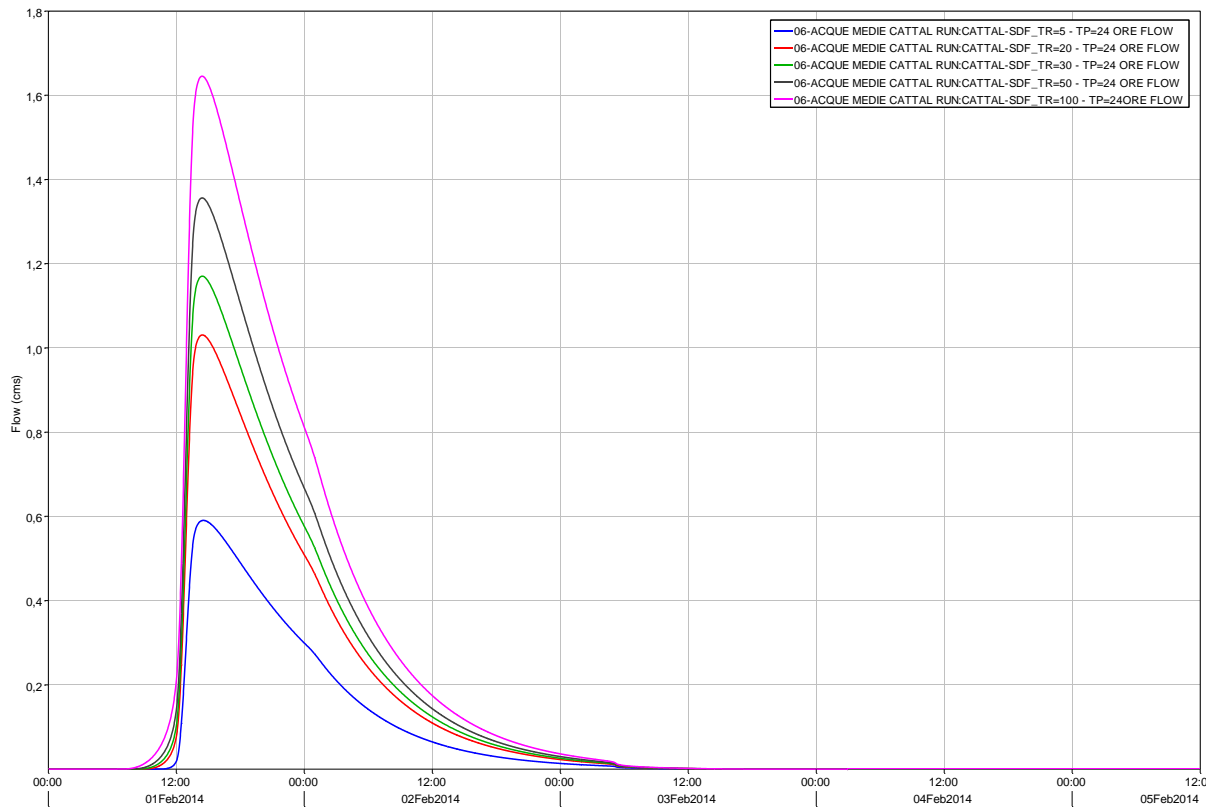


Figura 6.13. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "06 - Acque Medie Cattal".

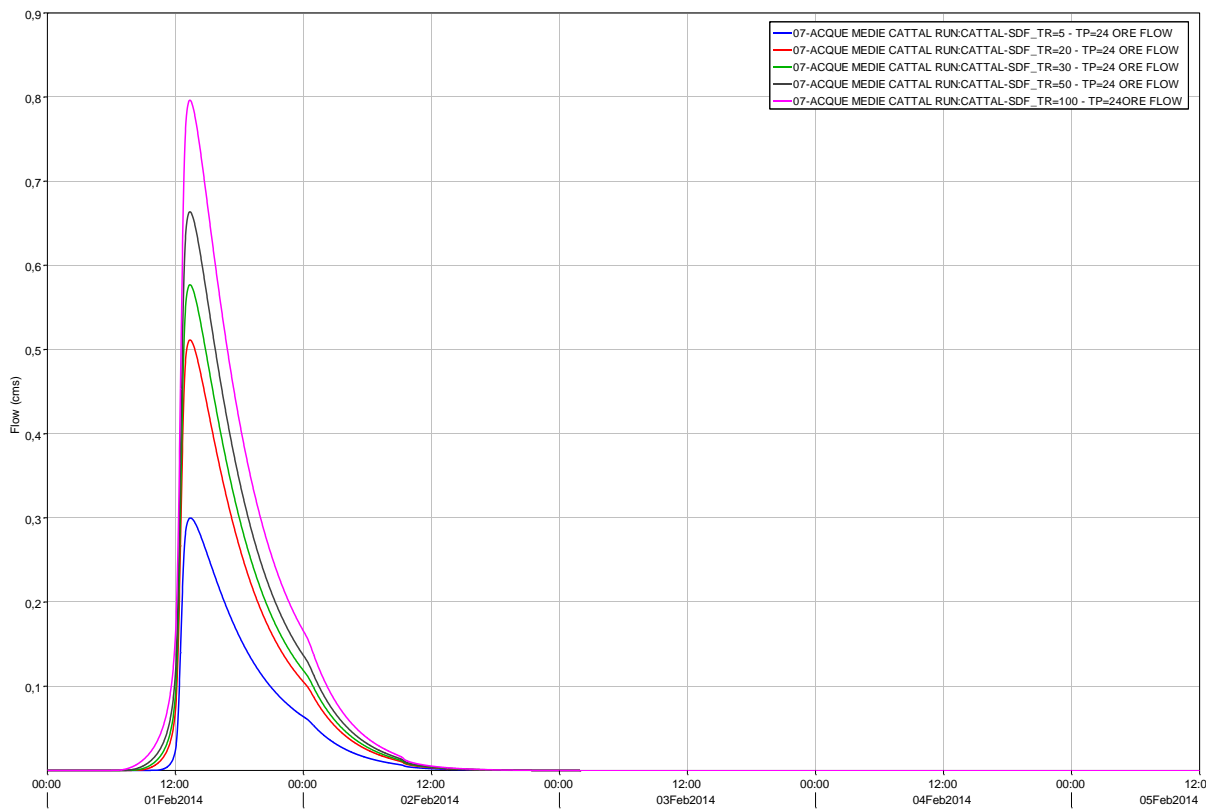


Figura 6.14. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "07 - Acque Medie Cattal".

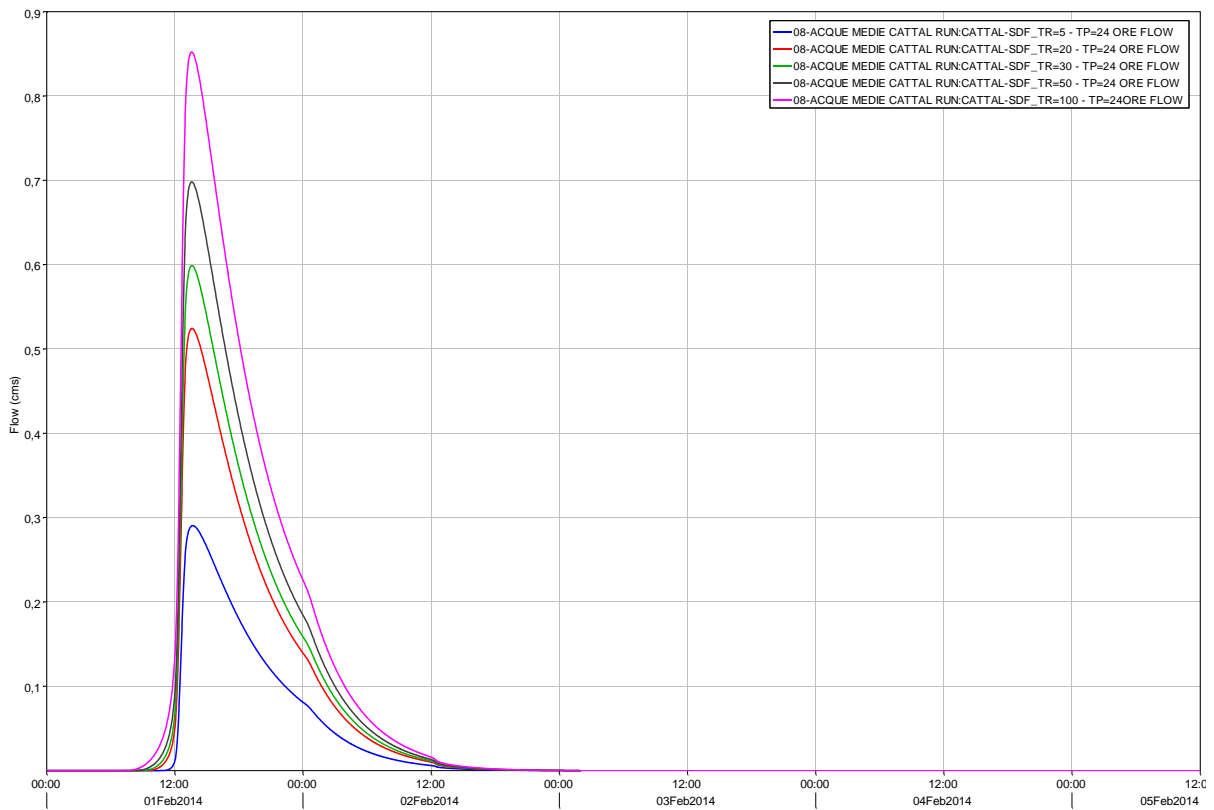


Figura 6.15. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "08 - Acque Medie Cattal".

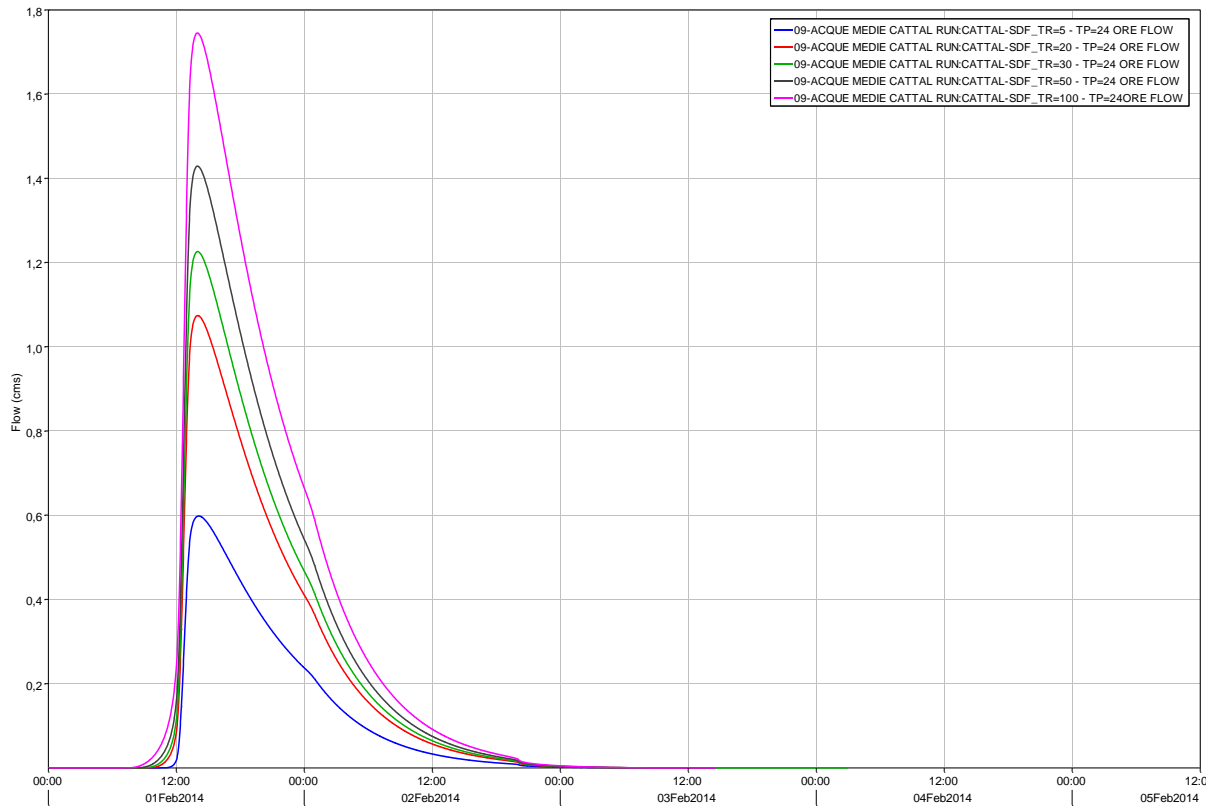


Figura 6.16. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "09 - Acque Medie Cattal".

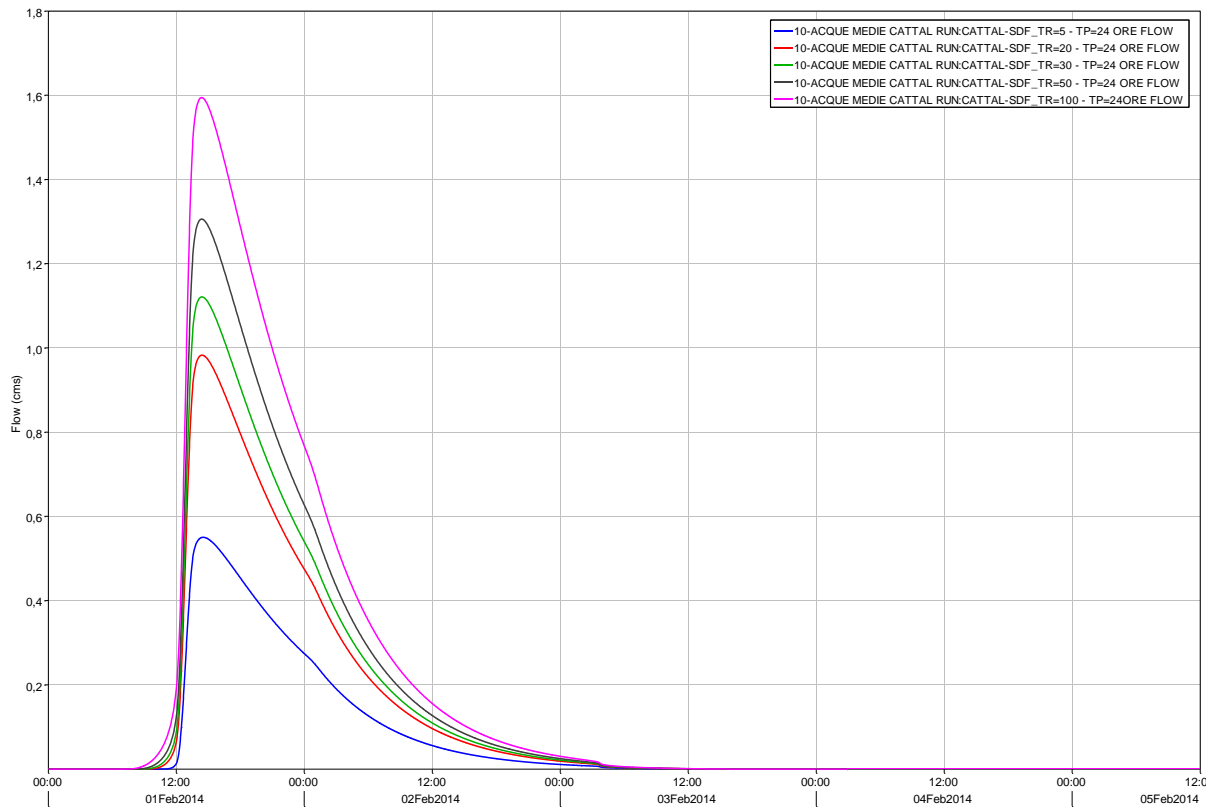


Figura 6.17. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "10 - Acque Medie Cattal".

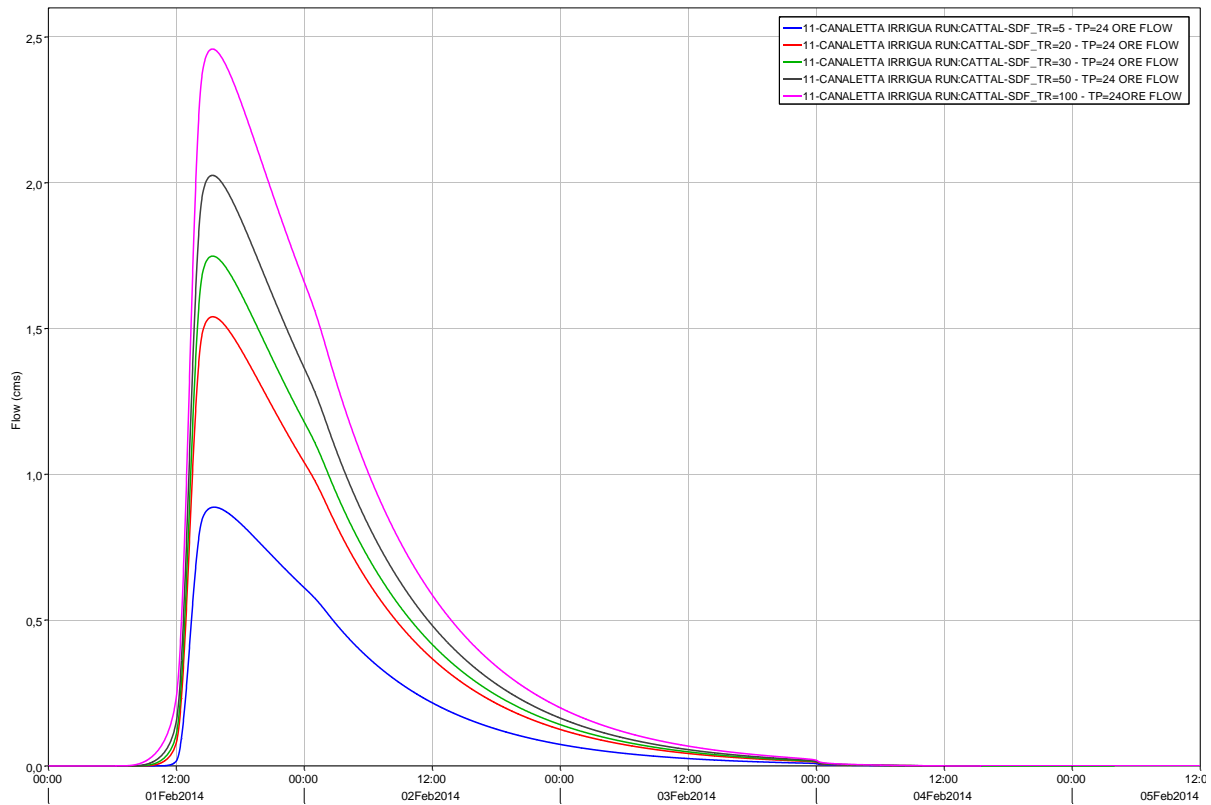


Figura 6.18. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “11 – Canaletta Irrigua”.

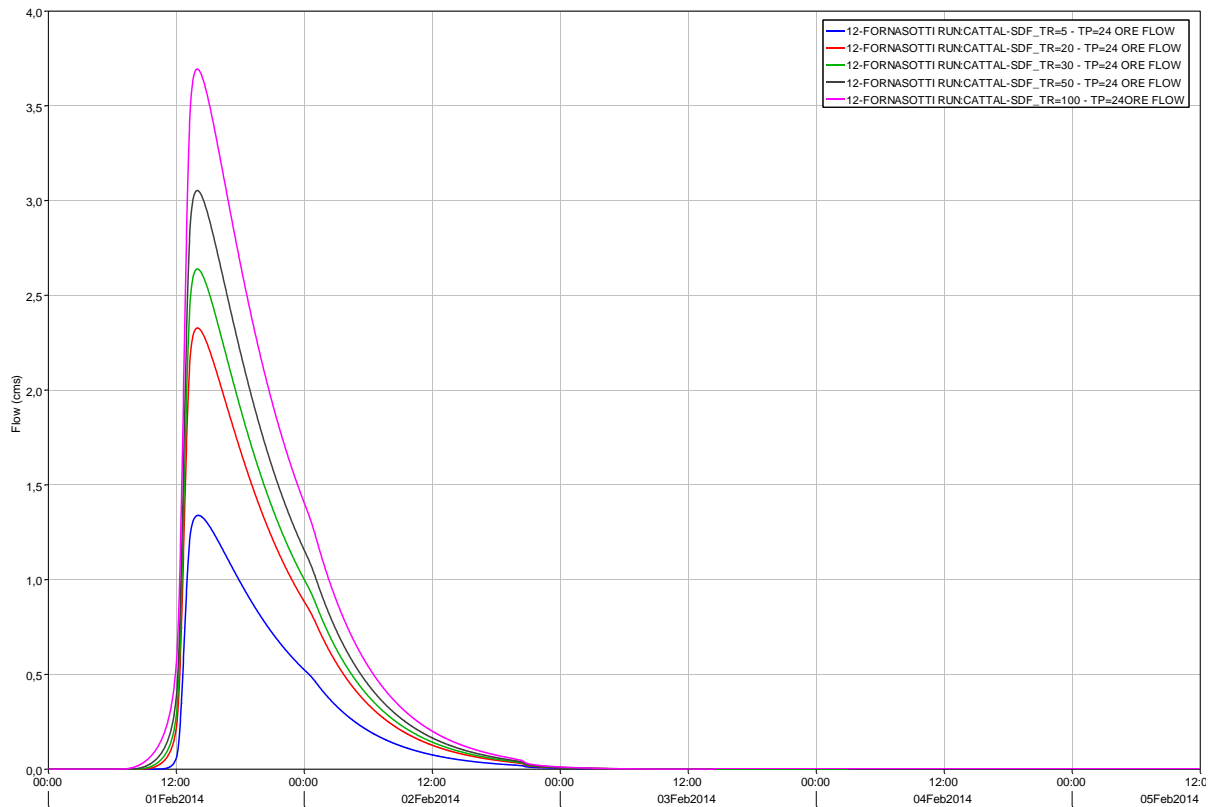


Figura 6.19. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “12 – Fornasotti”.

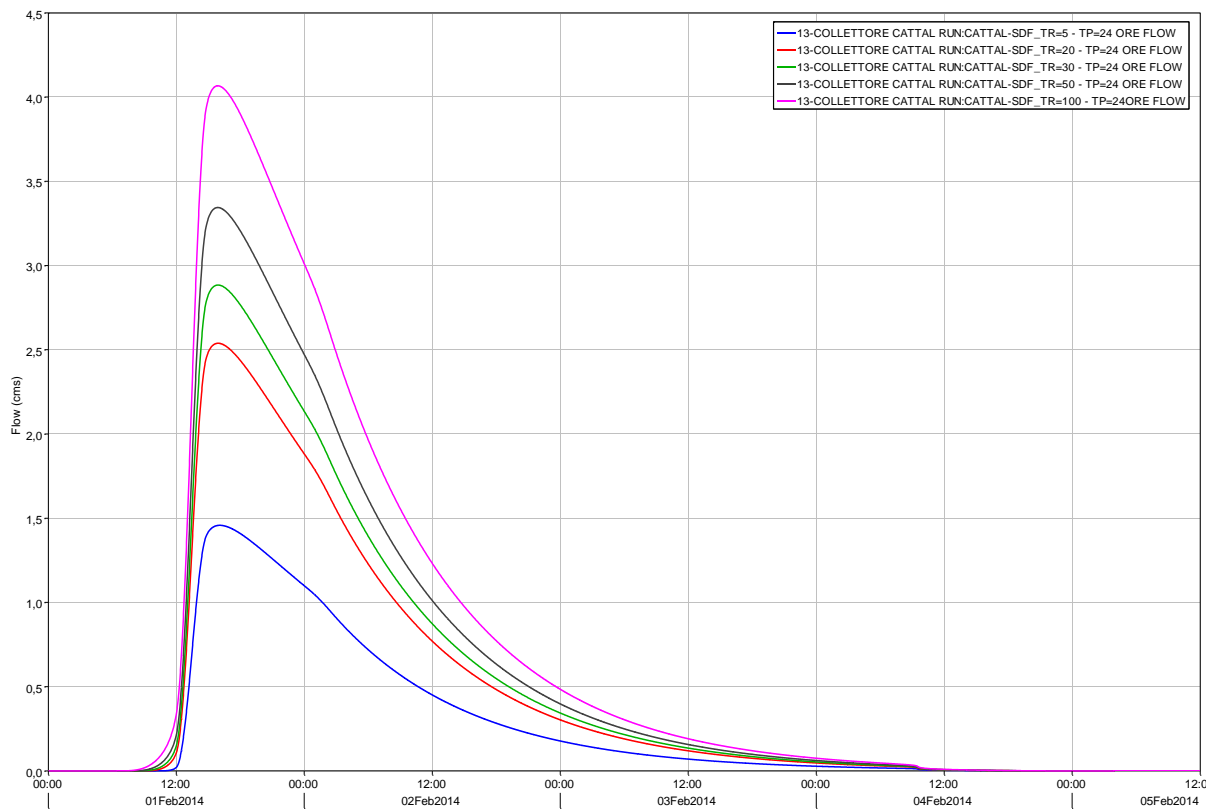


Figura 6.20. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "13 - Collettore Cattal".

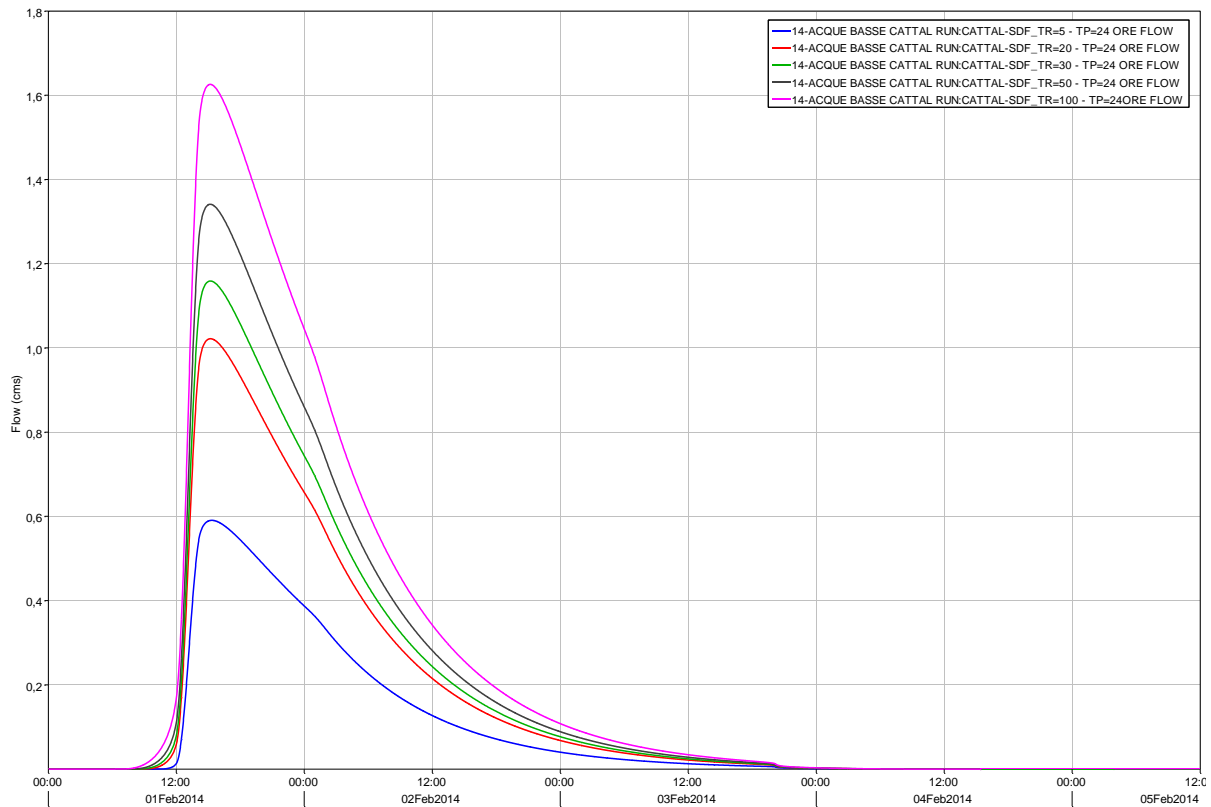


Figura 6.21. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "14 - Acque Basse Cattal".

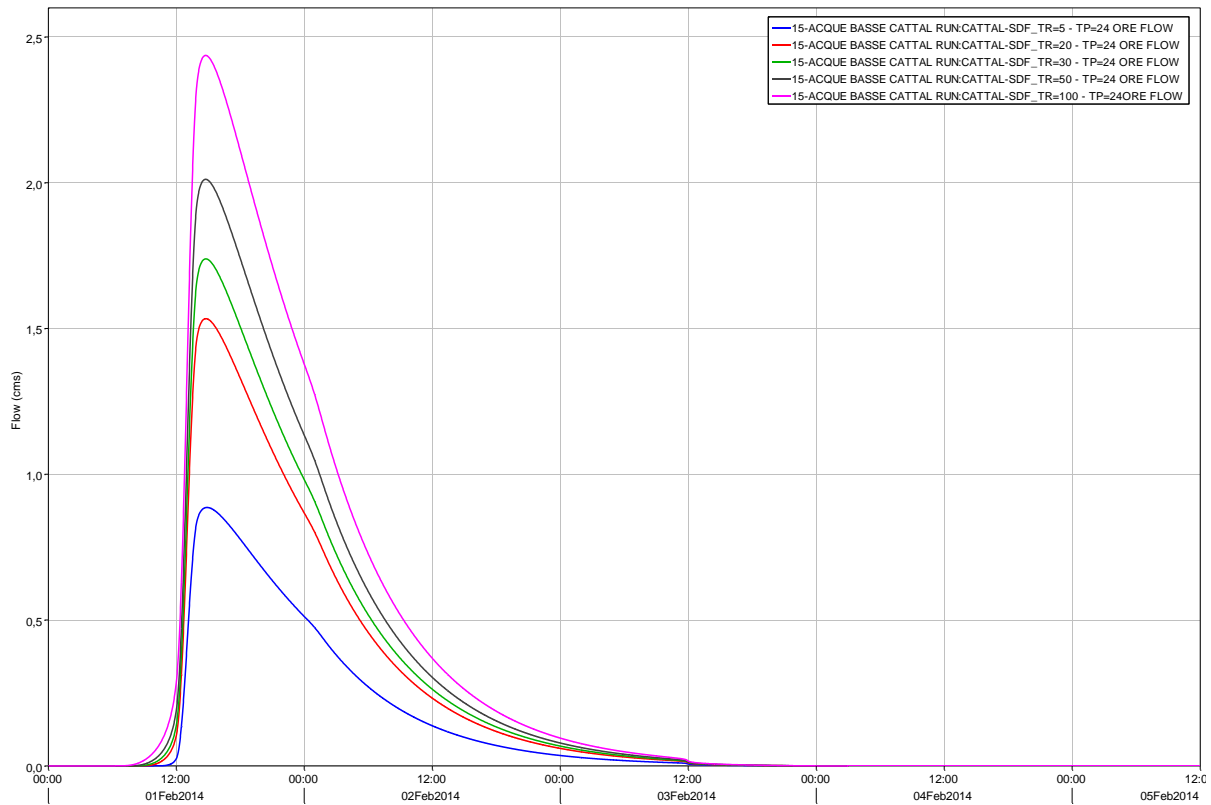


Figura 6.22. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "15 – Acque Basse Cattal".

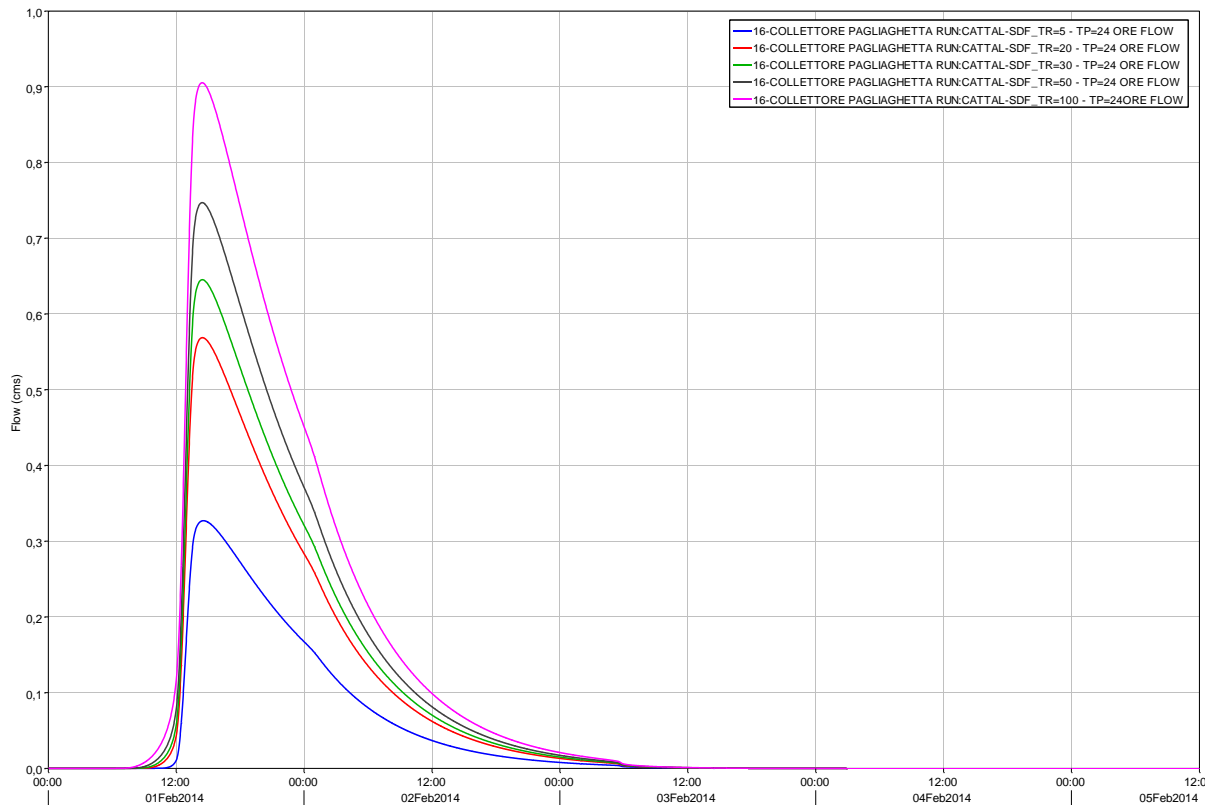


Figura 6.23. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino "16 – Collettore Pagliaghetta".

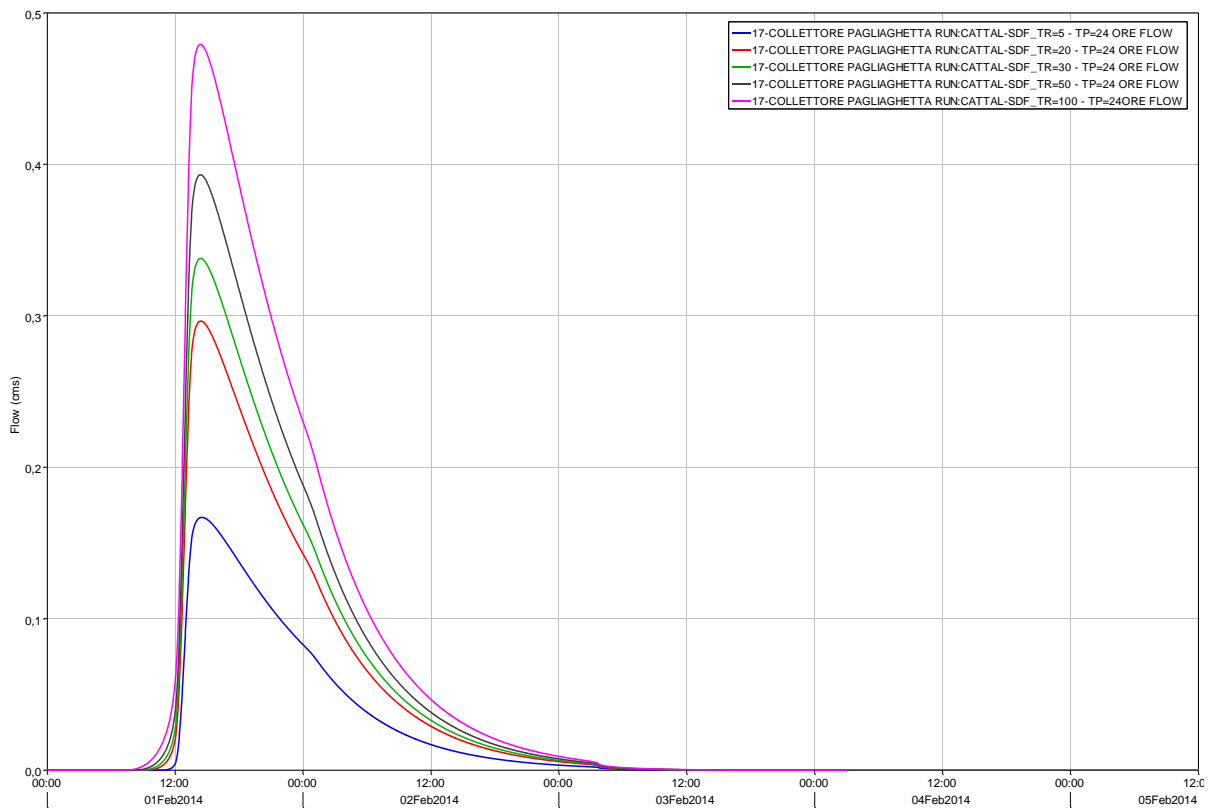


Figura 6.24. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “17 – Collettore Pagliaghetta”.

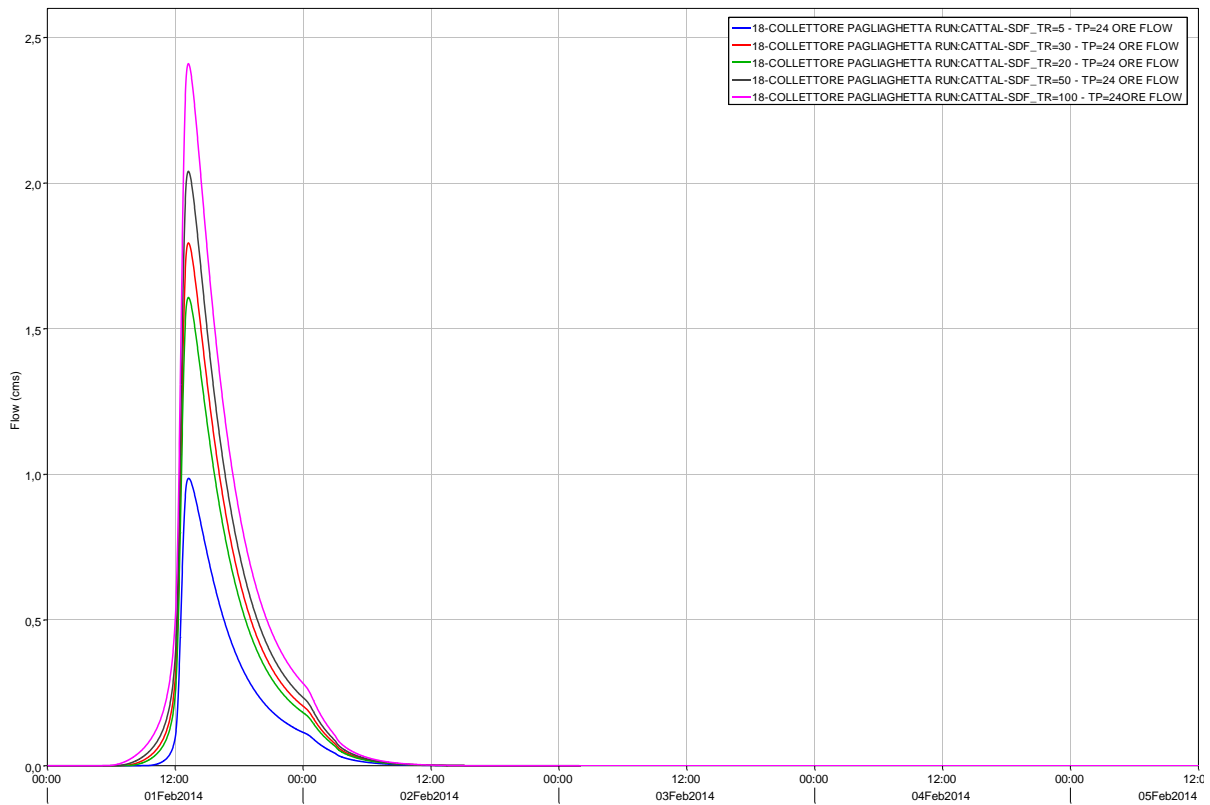


Figura 6.25. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “18 – Collettore Pagliaghetta”.

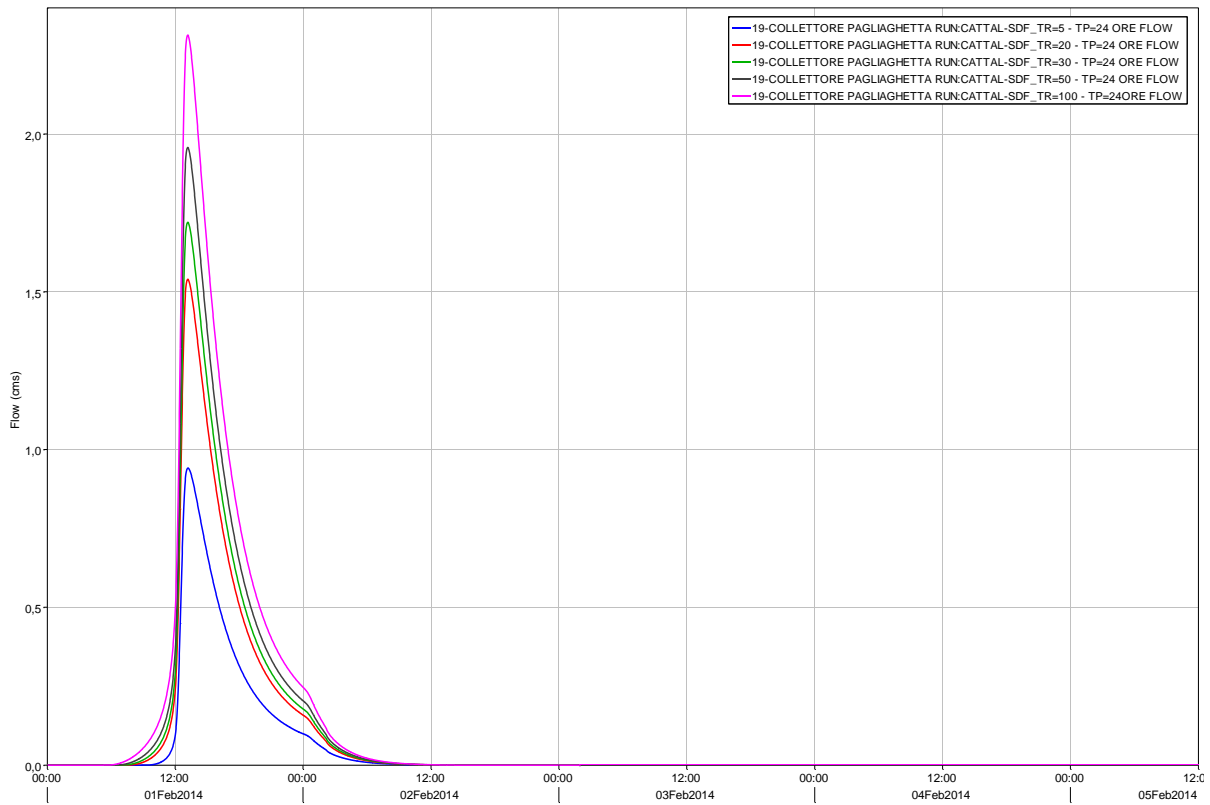


Figura 6.26. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “19 – Collettore Pagliaghetta”.

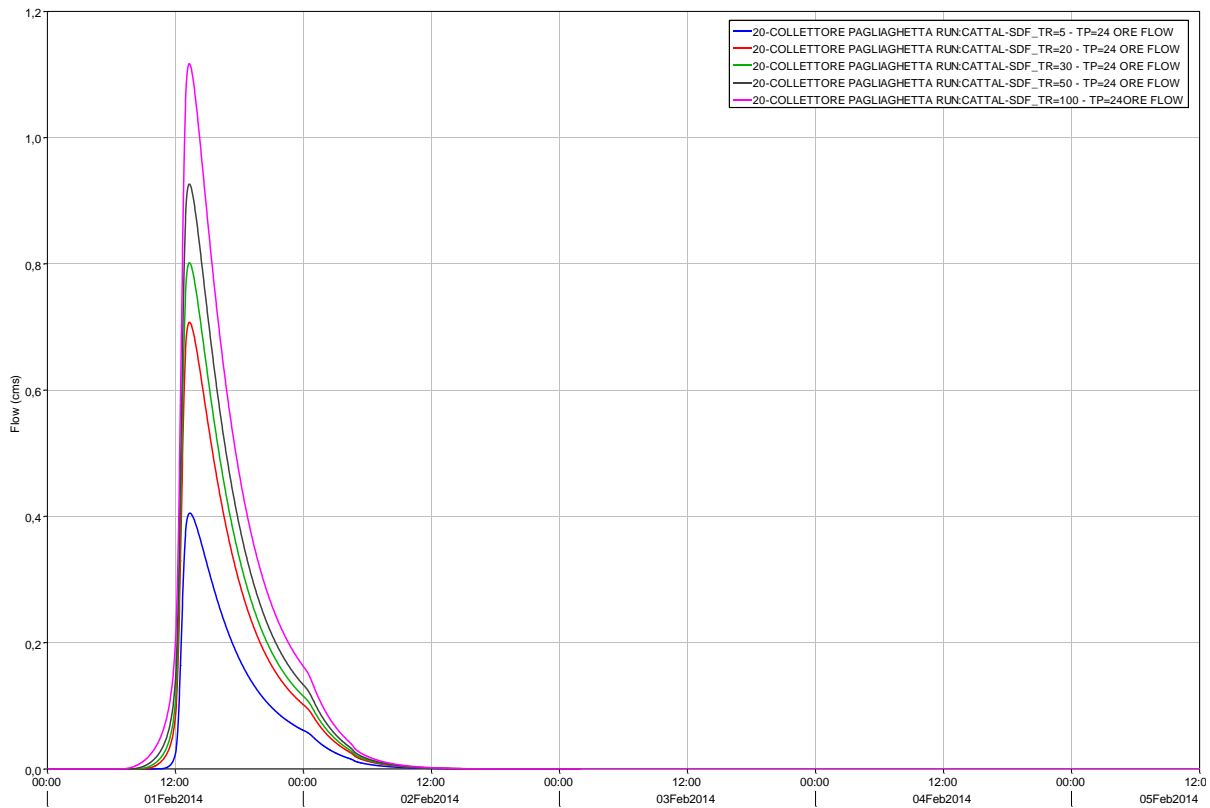


Figura 6.27. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “20 – Collettore Pagliaghetta”.

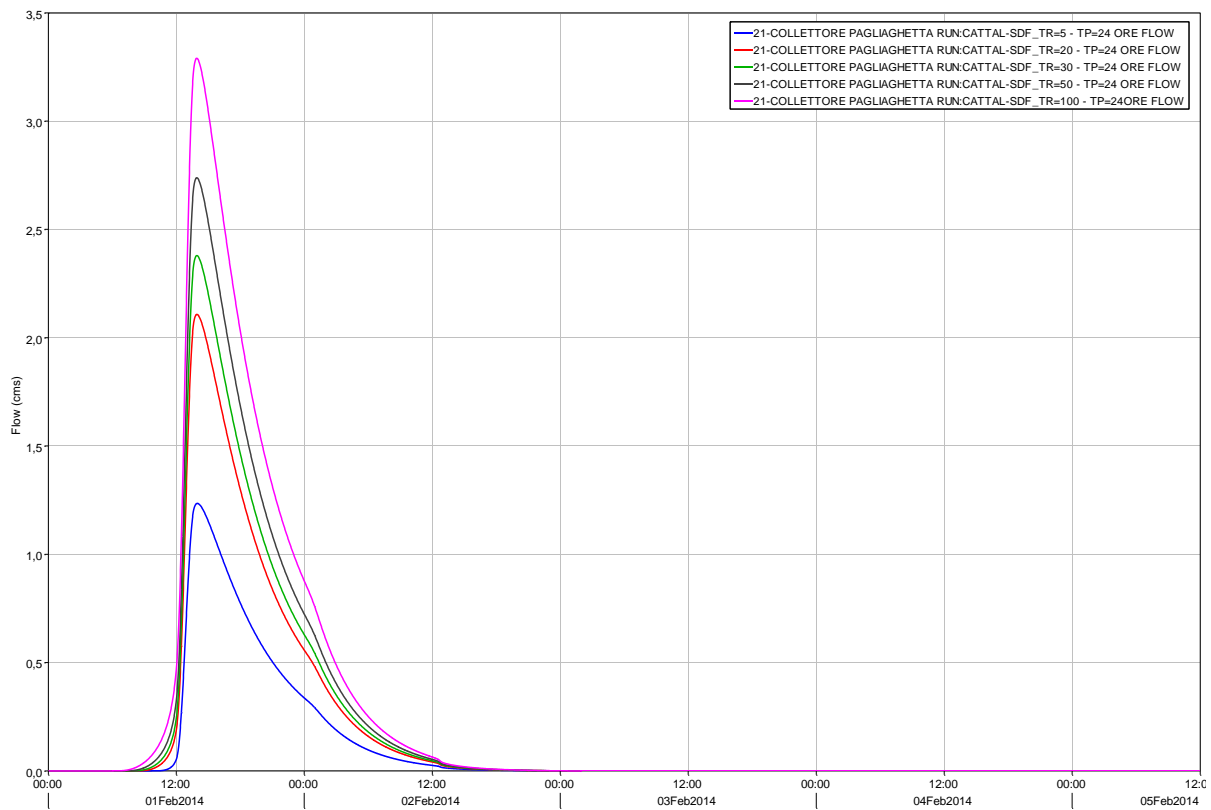


Figura 6.28. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “21 – Collettore Pagliaghetta”.

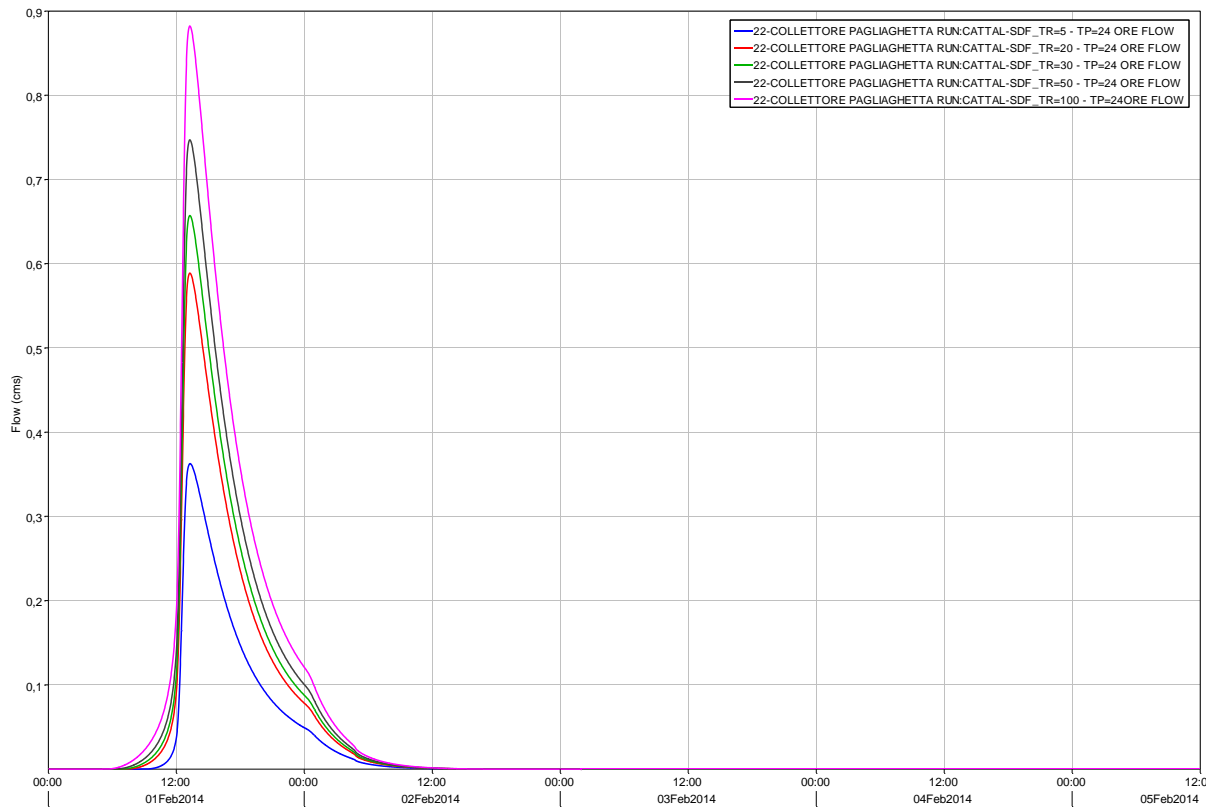


Figura 6.29. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “22 – Collettore Pagliaghetta”.

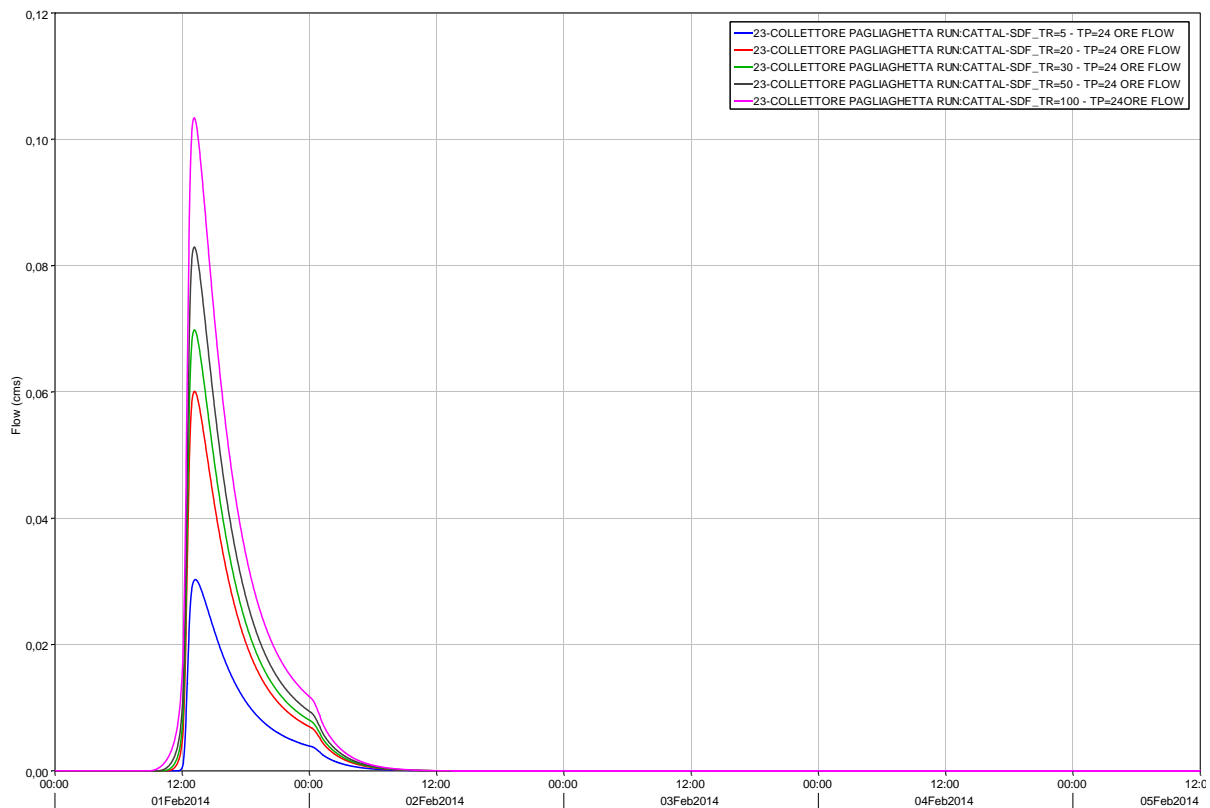


Figura 6.30. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “23 – Collettore Pagliaghetta”.

Come accennato ai capitoli precedenti è stata sfruttata la possibilità offerta dal modello HEC-HMS, di implementare, già in sede idrologica, i collettori relativi ai comparti Acque Alte e Acque Medie al fine d’individuare preliminarmente gli idrogrammi di piena del sedime aeroportuale e quello relativo alla sezione di chiusura del bacino Acque Medie.

Per lo studio della propagazione dell’onda di piena lungo la rete si è impiegato il modello semplificato di Muskingum-Cunge. L’obiettivo di questa analisi è sostanzialmente quello di verificare, già in sede idrologica, l’entità delle portate che si vengono a generare in uscita dal sedime aeroportuale e in corrispondenza dell’idrovora Cattal come effetto del solo comparto Acque Alte e Acque Medie senza il contributo del bacino Aeroportuale.

Di seguito si riportano alle Figura 6.31 e Figura 6.32 rispettivamente gli idrogrammi generati dal sedime aeroportuale e dell’insieme dei comparti Acque Medie e Acque Alte Cattal senza il contributo aeroportuale.

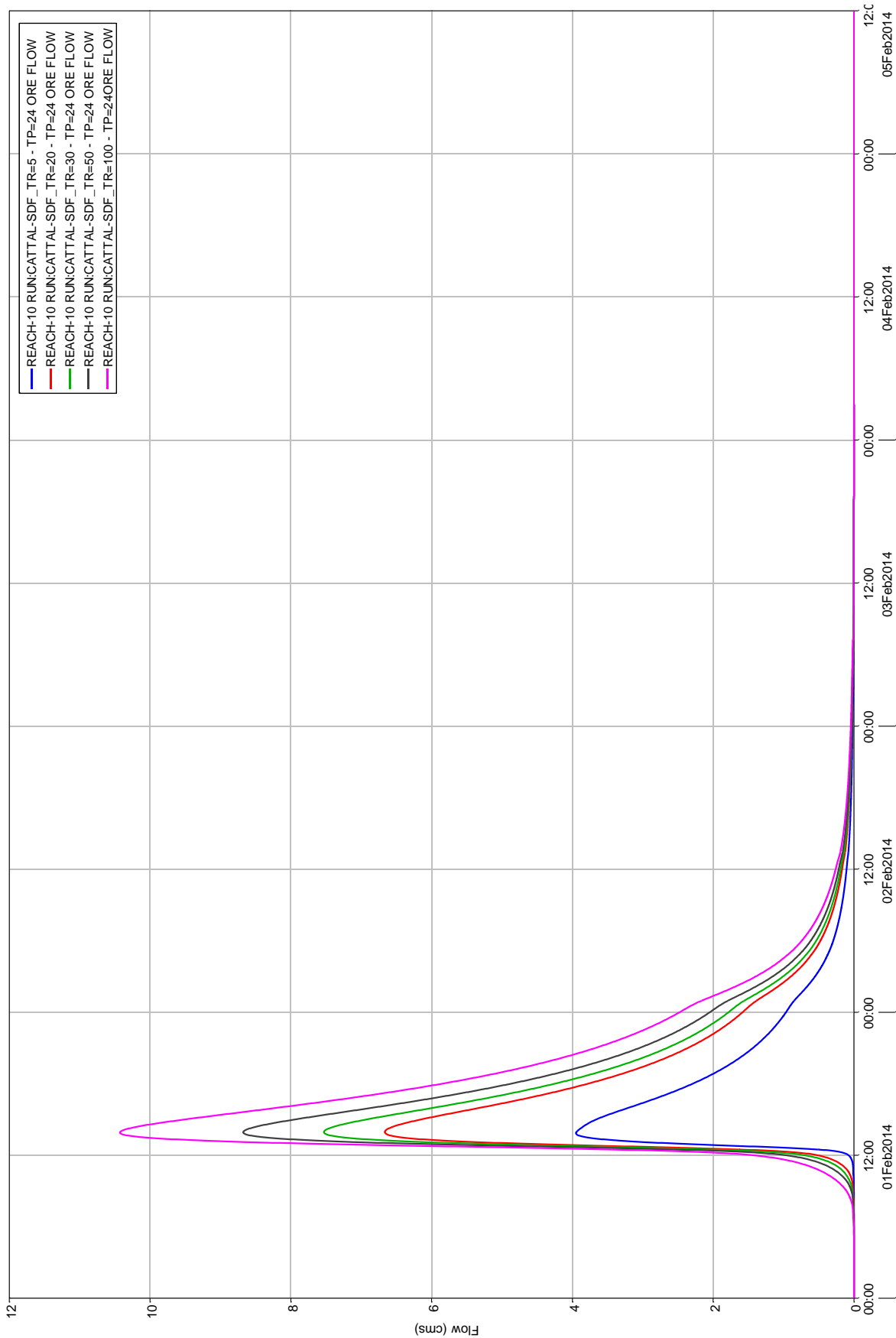


Figura 6.31. Idrogrammi di piena in uscita dal sedime aeroportuale per i diversi Tr.

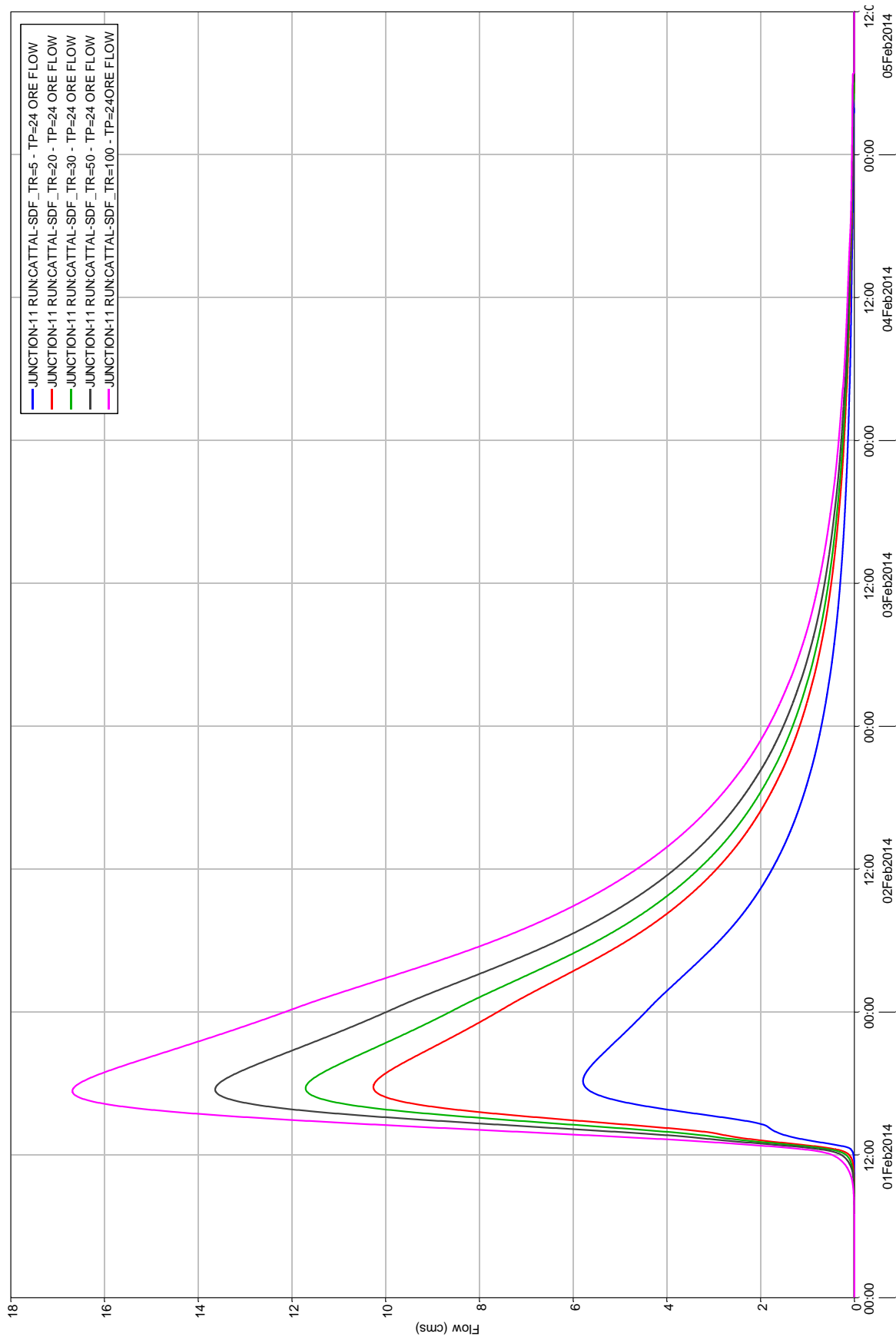


Figura 6.32. Idrogrammi di piena generati dai comparti Acque Alte e Acque Medie Cattal a meno del contributo aeroportuale per i diversi Tr.

Quello che emerge dall'analisi degli idrogrammi proposti può essere riassunto calcolando il coefficiente udometrico relativo ai picchi di piena per ciascun tempo di ritorno considerato. Il risultato è proposto alla successiva Tabella 6.3.

Tabella 6.3. Portate di picco e coefficienti udometrici del sedime aeroportuale e del Comparto Acque Alte e Medie a meno del contributo aeroportuale.

Sedie Aeroportuale			Acque Alte e Medie		
S = 232 ha			S = 896 ha		
Tr	Qmax [m³/s]	u [l/s ha]	Tr	Qmax [m³/s]	u [l/s ha]
5	3.95	17.03	5	5.79	6.46
20	6.66	28.71	20	10.26	11.45
30	7.53	32.46	30	11.71	13.07
50	8.68	37.41	50	13.63	15.21
100	10.43	44.96	100	16.68	18.62

Determinati i parametri di input per il modello idraulico, è a questo punto possibile procedere all'esecuzione delle simulazioni in HEC-RAS al fine di ottenere i principali parametri idrodinamici con riferimento alla rete implementata. L'obiettivo è quello di verificare l'efficacia predittiva del modello mediante confronto dei risultati, principalmente in termini di livelli, rispetto alle osservazioni riscontrate in campagna secondo quanto riportato alla Figura 6.4.

6.2.2.2 Il modello idraulico

I risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello idrologico in HEC-HMS e riportati per sommi capi al precedente paragrafo, hanno rappresentato le condizioni al contorno per l'analisi idrodinamica del sistema di scolo delle acque meteoriche effettuato mediante il modello HEC-RAS.

In questa sede l'obiettivo dell'analisi è esclusivamente quello di verificare le capacità predittive del modello ovvero la sua capacità di interpretare correttamente il comportamento dell'ambito in analisi sotto il profilo idrologico-idraulico.

Di seguito si riportano alle Figura 6.33, Figura 6.34 e Figura 6.35 i profili del pelo libero risultanti dall'applicazione del modello con riferimento ad una precipitazione con $Tr = 5$ anni, al fine di verificare se i riscontri sul campo coincidono con quelli risultanti da modellazione.

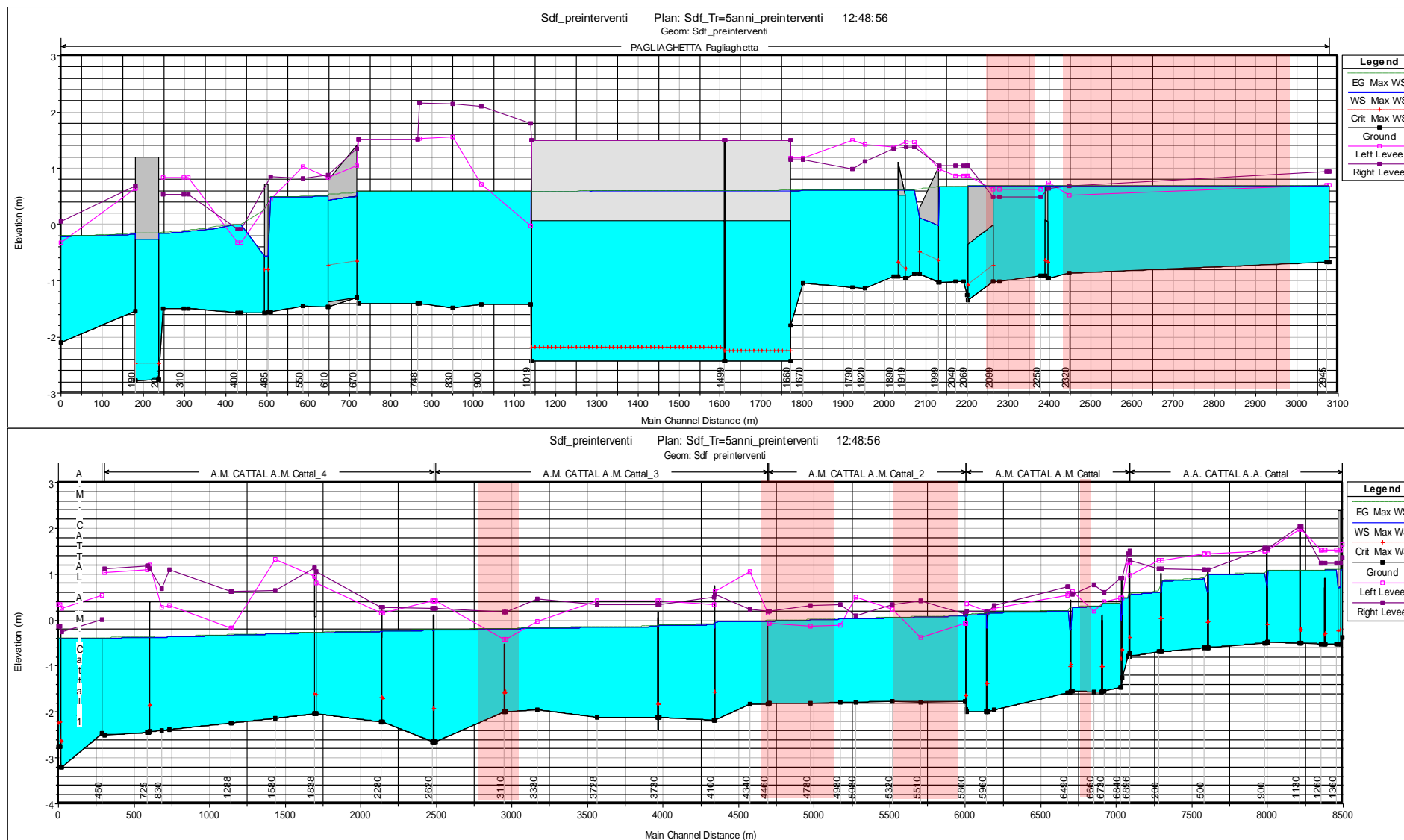


Figura 6.33. Involuppo dei livelli massimi. Figura in alto, Collettore Pagliaghetta – Figura in basso, Collettore Acque Alte e Acque Medie Cattal fino all'idrovora.

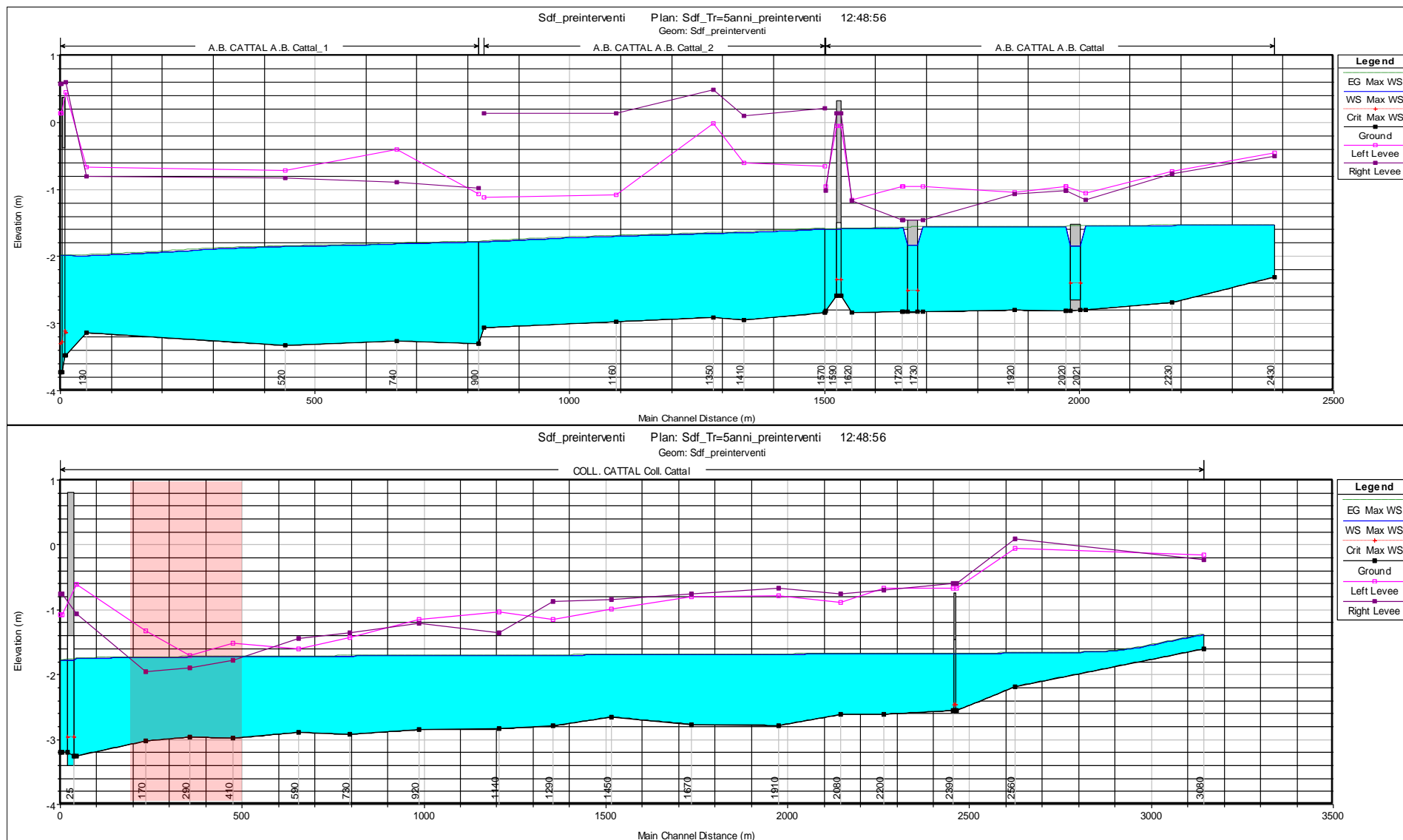


Figura 6.34. Involuppi dei livelli massimi. Figura in alto, Collettore Acque Basse Cattal fino all'idrovora – Figura in basso, Collettore Cattal.

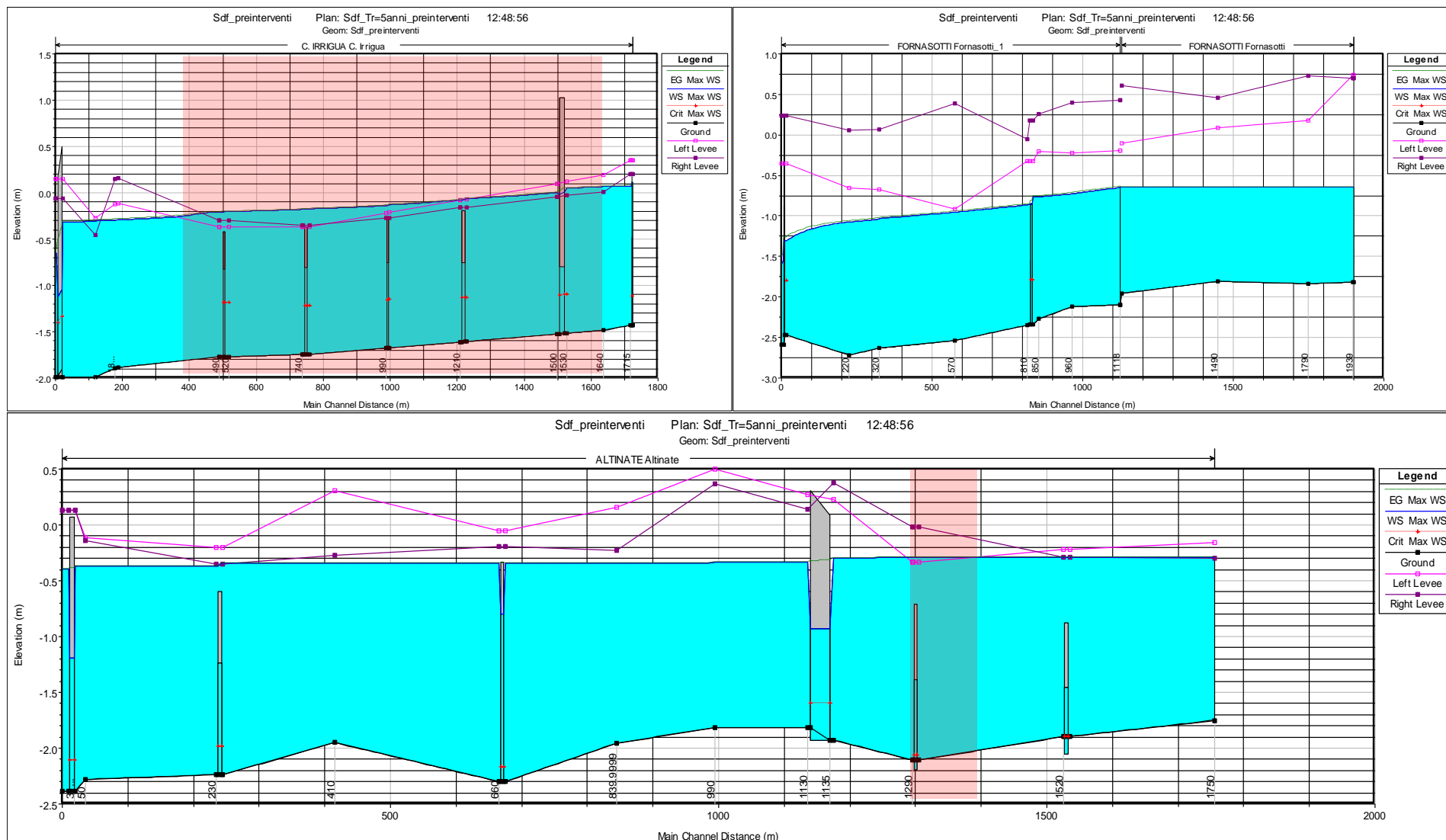


Figura 6.35. Inviluppo dei livelli massimi. Figura in alto a sx, Canaletta Irrigua – Figura in alto a dx, Collettore Fornasotti – Figura in basso, Collettore Cattal.

Quello che emerge da un confronto tra i profili del pelo libero risultanti dall'applicazione del modello HEC-RAS e i riscontri di campagna riportati qualitativamente alla Figura 6.4, è una sostanziale coincidenza tra i risultati modellistici e gli allagamenti che, con frequenza inferiore a una volta ogni cinque anni, si verificano nel comparto in analisi.

Tale risultanza ci consente di affermare come, pur nell'incertezza di una calibrazione eseguita in termini qualitativi, il modello idrologico-idraulico è in grado di interpretare in modo corretto i meccanismi di formazione e propagazione dell'onda di piena.

Come detto l'impiego della configurazione "pre-interventi" ha avuto esclusivamente lo scopo di calibrare il modello partendo, per le analisi di dettaglio a scala di bacino, dallo "stato di fatto" che vede già implementata la così detta "doppia canna" in corso di realizzazione durante la stesura del presente documento. Per quanto detto non si è analizzata questa configurazione, se non in termini eminentemente idrologici come riportato ai grafici da Figura 6.8 a Figura 6.32, con riferimento a precipitazioni caratterizzate dai tempi di ritorno superiori ai 5 anni.

7 L'ANALISI DEGLI SCENARI FUTURI

Al capitolo precedente si è effettuata la calibrazione del modello idrologico-idraulico del bacino Cattal analizzando la configurazione pre-interventi. Attraverso quest'attività è stato possibile individuare il set di parametri ottimale per la descrizione del comportamento idrologico-idraulico del bacino in analisi.

A questo punto è possibile analizzare ulteriori configurazioni al fine di verificare quali sono gli effetti a scala di bacino sia degli interventi in corso di realizzazione sia di quelli programmati per il futuro che la società SAVE S.p.A. intende realizzare secondo le previsioni di Master Plan.

7.1 Scenario 1: Configurazione al 2016

Lo scenario che si vuole analizzare nel presente paragrafo implementa nel modello idrologico-idraulico tutti gli interventi in corso di realizzazione o di progettazione esecutiva e il cui completamento è previsto per il 2016. Questi interventi sono brevemente descritti nel seguito e sono graficamente riportati alla Figura 7.5.

Come detto ai precedenti paragrafi, attualmente è in corso di realizzazione un intervento previsto in sede di Master Plan Idraulico del 1998 e la cui attività di progettazione è stata avviata da SAVE Engineering nel 2002, che prevede la posa di un condotto di raccordo tra l'uscita del collettore sotto all'attuale piazzale aeromobili e il manufatto di attraversamento della SR 14 recentemente realizzato.

Accanto a quest'opera è in corso di realizzazione il progetto MP.03 (scatolare Pagliaghetta), già completato nel suo primo tratto, ed è avviata l'attività di progettazione esecutiva per gli interventi MP.04 (deviazione Pagliaghetta) e MP.05 (scolmatore Pagliaghetta).

Gli interventi elencati saranno verosimilmente ultimati nel 2016 e vengono così implementati congiuntamente nel modello ed analizzati nel presente paragrafo.

7.1.1 Gli interventi implementati nello Scenario 1

7.1.1.1 L'intervento 6.03: la doppia canna

Il progetto del "sistema di smaltimento delle acque meteoriche e di trattamento delle acque di prima pioggia incidenti all'interno del sedime aeroportuale di Venezia", realizzato da SAVE Engineering, prevede in sintesi le seguenti opere:

- realizzazione di un condotto di raccordo tra l'uscita del collettore sotto all'attuale piazzale aeromobili (a quota -2.43 m s.m.m.) e il manufatto di attraversamento della SR 14 recentemente realizzato (a quota -2.75 m s.m.m.). Tale condotto, di lunghezza di poco superiore a 550 m, avrà un salto di fondo iniziale di 20 cm e si svilupperà poi in fregio alla strada aeroportuale di viale Alvise Ca' Da Mosto. Tale opera consentirà di tagliar fuori l'attuale sedime del collettore Pagliaghetta, che percorre una via più lunga in prossimità dell'attuale torre di controllo e che risulta ostruito da tombini di attraversamento di dimensioni assai modeste.



Figura 7.1. Tratti insufficienti di collettore Pagliaghetta in via Bonmartini che verranno bypassati.

Il primo tratto di condotto sarà realizzato con uno scatolare di sezione di misura 4.0 x 2.5 m, come i collettori già esistenti.

A partire dalla progressiva 60.0 m e fino alla progressiva 519.0 m sarà realizzata la duplicazione della canna. La prima canna sarà destinata all'invaso e allo smaltimento delle acque di prima pioggia: essa avrà fondo con pendenza di 1.50 m/km e raggiungerà quota

-3.83, così da garantire il deflusso delle portate di magra fino all'impianto di trattamento posto all'estremità di valle. Qui le portate verranno sollevate da 4 pompe da 40 l/s ciascuna e immesse in un sistema di depurazione a filtri cilindrici per il trattamento.

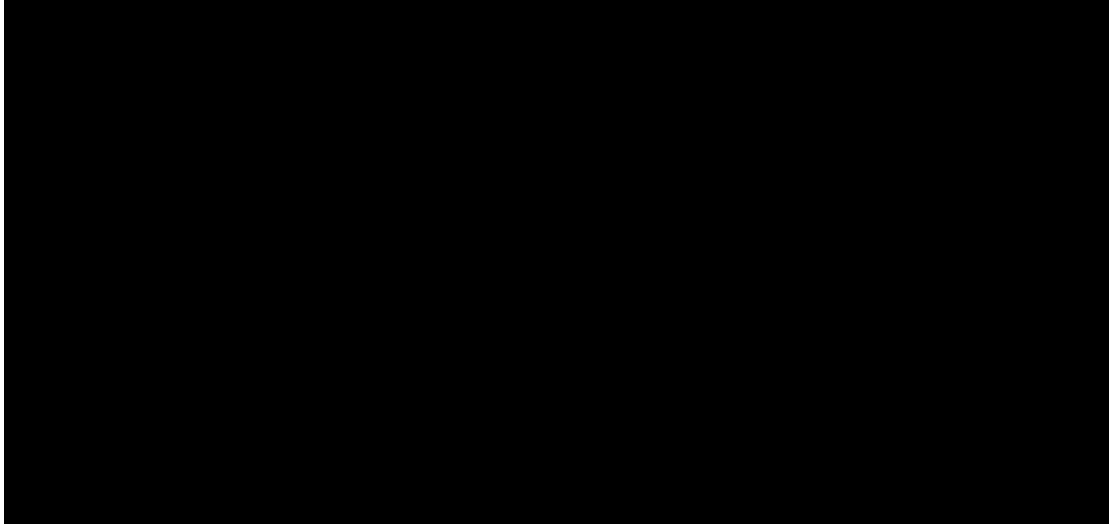


Figura 7.2. Sezione della doppia canna presso il manufatto di sfioro tra la canna riservata alla prima pioggia (a sinistra) e quella per le portate di piena (a destra).

La seconda canna, parallela alla prima, servirà per il transito delle portate di piena, con la consueta sezione 4.0 x 2.5 m e pendenza di fondo di 20 cm/km. La canna consentirebbe di allontanare fino a 10 m³/s, anche dopo l'avvenuta chiusura della prima canna per scopi di depurazione delle acque stoccate. La canna prevede in ogni caso un manufatto di sostegno e sfioro in prossimità dell'impianto di depurazione, per trattenere nel collettore l'acqua di piena a scopo di riutilizzo;

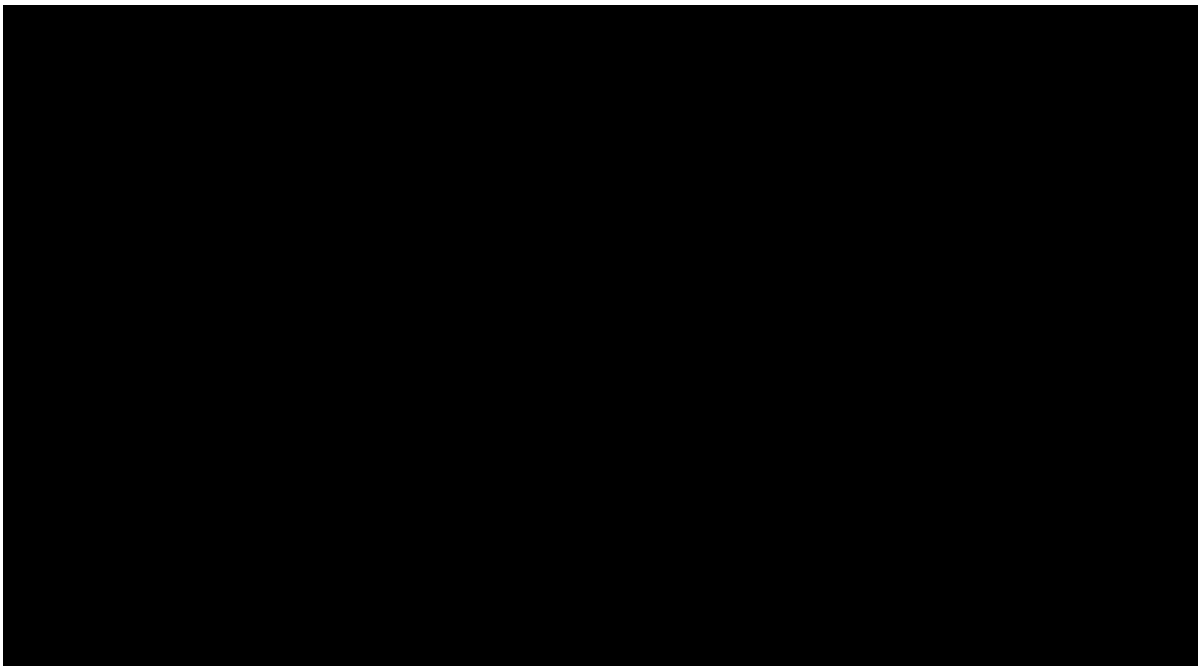


Figura 7.3. Pianta del manufatto di separazione tra la prima e la seconda pioggia.

- realizzazione di due botti a sifone per il corretto conferimento delle acque provenienti dai bacini limitrofi alle due canne. Le portate in ingresso risulterebbero assai modeste, e i manufatti prevedono l'inserimento di luci regolabili per il deflusso delle acque.

Figura 7.4. Manufatto di sollevamento e trattamento delle portate della canna finalizzata alla prima pioggia.

7.1.1.2 Intervento MP.03: scatolare Pagliaghetta

Come detto in premessa attualmente è in corso di realizzazione un tratto dello scatolare MP.03 (MP.03 - Fase 1) ed in particolare quella porzione di scatolare che interessa il sedime del nuovo piazzale aeromobili.

Tale progetto è stato definito in conseguenza alle opere previste in sede di Master Plan Generale: Intervento 6.18 Trigenerazione e 1.04 Ampliamento terminal lotto 2A+2B+2C. Tali interventi di ampliamento delle strutture aeroportuali risultate interferenti con l'attuale tracciato del canale Pagliaghetta, hanno obbligato la definizione di un nuovo tracciato per lo stesso collettore.

In particolare per dare continuità al nuovo tracciato del canale Pagliaghetta (vedi intervento MP.04 – Deviazione Pagliaghetta par. 7.1.1.3) si sono studiati i possibili tracciati delle nuove opere idrauliche definendo il tombotto scatolare idraulico MP.03.

Nello specifico la realizzazione dell'intervento MP.03 consiste nella posa in opera di uno scatolare di dimensioni interne pari a 4.0x2.5 m laddove sono previsti o esistenti tratti di viabilità o piazzali, e nel risezionamento di un fossato a cielo aperto fino allo sbocco del nuovo collettore MP.04, attualmente esistente, per adeguarne la capacità di portata alle esigenze future (Figura 7.5).

L'intervento è stato suddiviso in due fasi realizzative, in corrispondenza ai seguenti progetti:

- per il tratto di valle, cosiddetto "Scatolare Pagliaghetta – tratto 1" e per una lunghezza di 208 m all'intervento 4.06 – "Ampliamento Piazzale Fase 1" già quasi completamente realizzato: tale primo stralcio d'intervento interessa, a valle dello stesso, la connessione con il tratto tombinato esistente di Collettore Pagliaghetta localizzato in corrispondenza dell'area di sosta per aeromobili, e a monte il lato nord-est del parcheggio a servizio dell'area tecnica di SAVE S.p.A.. Il tratto di valle sarà interamente costituito da una condotta scatolare di dimensioni interne pari a 4.0 x 2.5 m;
- per il tratto di monte, cosiddetto "Scatolare Pagliaghetta – tratto 2" all'intervento 6.18 "Nuova Centrale di Trigenerazione" di prossima realizzazione: tale secondo stralcio interesserà per 110 m la suddetta area tecnica e sarà costituito da uno scatolare delle stesse dimensioni del tratto di valle; per circa ulteriori 30 m il collettore interesserà un esistente fossato a cielo aperto, che ad oggi funge da canale secondario rispetto al Pagliaghetta e che prossimamente costituirà, per il tratto in analisi, il nuovo sedime del Pagliaghetta medesimo: al fine di permettere tale deviazione è previsto che il fossato venga risezionato mediante allargamento e approfondimento dello stesso.

7.1.1.3 Intervento MP.04: deviazione Pagliaghetta

Come detto, l'attuale sedime del collettore Pagliaghetta localizzato nell'area land side presenta molte interferenze e sovrapposizioni con i futuri interventi programmati di sistemazione dell'area (in primis con il lotto 2 dell'ampliamento aerostazione - intervento 1.04, con il cunicolo tecnologico legato alla realizzazione della nuova centrale di trigenerazione - intervento 6.18).

Fin dalle analisi di Master Plan Idraulico è parso opportuno perciò lo spostamento del tracciato del collettore Pagliaghetta, mantenendolo a cielo aperto. Rispetto alle previsioni di MPI che prevedevano un percorso che seguendo Viale Galileo Galilei e i nuovi raccordi stradali affiancava la Statale Triestina, fino all'immissione nel collettore previsto al margine della nuova centrale trigenerazione, considerazioni emerse durante l'attività di progettazione e legate in particolar modo ad un miglior impiego del sedime, hanno portato ad un nuovo tracciato che va ad integrarsi con il nuovo parcheggio denominato "Parcheggio P6" in corso di progettazione (intervento 3.41) e costeggiando il depuratore si immette nel collettore

risezionato e posto a margine della nuova centrale di trigenerazione (Intervento MP.03 – tratto di monte) (Figura 7.5).

7.1.1.4 Intervento MP.05 - Scolmatore Pagliaghetta fase 1

L'intervento descritto nel presente paragrafo merita considerazioni di più ampio respiro, contestualizzate all'interno delle previsioni a lungo termine poste in evidenza all'interno del Master Plan Idraulico.

In particolare la programmazione idraulica parte dal presupposto di voler garantire al sedime aeroportuale una condizione di sicurezza idraulica per eventi caratterizzati da TR pari a 100 anni. È evidente come tale esigenza risulti nettamente più importante e vincolante rispetto alle specifiche necessità di tutela del restante bacino Cattal con il quale attualmente il sedime è interconnesso. È proprio da queste considerazioni di base che il MPI si è fissato come obiettivo quello di realizzare gradualmente un sistema che possa divenire all'uopo indipendente dalla rete di bonifica di valle, costituendo quindi un'isola aeroportuale con recapito diretto in Laguna di Venezia.

È proprio sulla scorta di questo obiettivo che tutti gli interventi proposti in sede di MPI sono stati pensati: gli interventi previsti nel transitorio sono stati studiati non soltanto come finalizzati essi stessi a raggiungere progressivamente una maggiore sicurezza idraulica, ma anche quali fasi propedeutiche al raggiungimento della configurazione finale individuata nella creazione dell' "isola aeroportuale".

L'intervento in analisi in questo paragrafo si presta più degli altri a raggiungimento del duplice obiettivo di consentire da un lato il miglioramento della sicurezza idraulica attuale attraverso la creazione di un importante volume di laminazione e dall'altro di predisporre il primo tratto del collettore che consentirà, unitamente all'intervento MP.06, di convogliare tutte le acque del bacino aeroportuale direttamente verso la Laguna di Venezia.

Alla luce delle previsioni di realizzazione dell'isola aeroportuale quindi è stata avviata la progettazione esecutiva per la realizzazione di una condotta scatolare di sezione interna pari a 4.0 x 2.5 m nei pressi del tratto finale di Collettore Pagliaghetta prima dell'attraversamento della Strada Statale n.14 "Triestina".

Nello specifico, l'intervento MP05 - Scolmatore Pagliaghetta Fase 1, sarà costituito da una condotta di dimensioni interne pari a 4.0 x 2.5 m.

Una porzione dell'opera è in corso di realizzazione all'interno dell'intervento 4.14 – "Riqualifica e adeguamento normativo infrastrutture di volo", per una lunghezza pari a circa

180 m; la restante porzione (in corso di progettazione esecutiva) sarà realizzata in appalto ad esso dedicato (Figura 7.5).

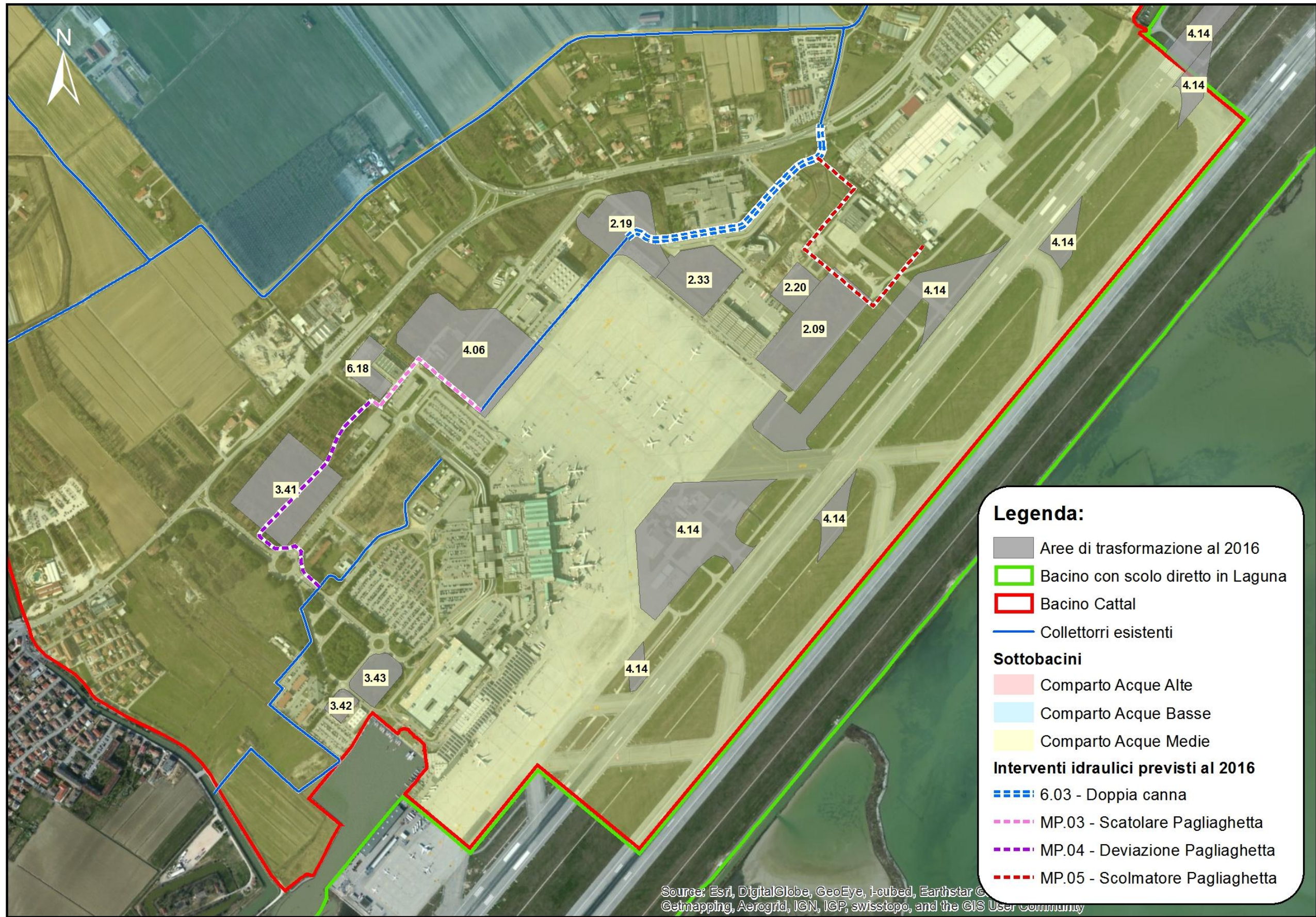


Figura 7.5. Scenario 1– Configurazione al 2016. Interventi in corso di realizzazione o progettazione e aree in trasformazione.

7.1.2 Il modello idrologico nello Scenario 1: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2016

Al capitolo precedente si è approfondita l'analisi idrologica sviluppata attraverso modellazione matematica per l'intero bacino Cattal. Il voler ora simulare gli effetti idraulici legati agli interventi che verranno implementati nel sistema e che saranno verosimilmente ultimati nel 2016, non può prescindere da un aggiornamento del modello idrologico che contempli gli effetti legati agli incrementi di portata generati dagli interventi infrastrutturali che interesseranno il bacino aeroportuale da oggi sino al 2016.

Facendo riferimento ai contenuti del Master Plan generale è stato possibile individuare le aree in trasformazione riportate alla Figura 7.5 e descritte alla successiva Tabella 7.1.

Tabella 7.1. Codifica e descrizione sintetica degli interventi infrastrutturali previsti in sedime aeroportuale al 2016.

COD	DESCRIZIONE INTERVENTO
2.33	DHL nuovo cargo building
2.2	Campo prove VVF
2.09	Riprotezione VVF e GdF
4.06	Ampliamento piazzale fase 1
2.09	Riprotezione VVF e GdF
6.18	Nuova centrale trigenerazione
3.01	Percorso pedonale in quota e nuova darsena
2.33	DHL nuovo cargo building
1.01	Terminal passeggeri lotto 1
6.18	Nuova centrale trigenerazione
3.43	Parcheggio moving walkway
3.42	Ampliamento parcheggio P4
3.41	Parcheggio P6
2.19	Riprotezione UPS e Dogana
4.14	Potenziamento piste di volo

L'effetto degli interventi di urbanizzazione sono, salvo soluzioni di compatibilità idraulica, in grado di generare un incremento delle piogge efficaci ovvero di aumentare la frazione di altezza di pioggia che si trasforma in portata lungo i collettori della rete di scolo delle acque meteoriche.

Implementare tali interventi nel modello idrologico diviene così di fondamentale importanza al fine di una corretta e reale interpretazione del fenomeno afflussi-deflussi che si realizzerà nel bacino aeroportuale a partire dal 2016. Aggiornare la parte idrologica del modello significa di fatto aggiornare i valori dei parametri del modello HEC-HMS ed in modo particolare i valori dei parametri CN. Nella successiva Tabella 7.2 sono riportati i valori dei

parametri CN corretti in base alla procedura descritta al paragrafo 6.2.1 ed impiegati per lo studio dello Scenario 1 – configurazione al 2016.

Tabella 7.2. Collettori del bacino Cattal rappresentati nel modello HEC-RAS.
 Valori del parametro CN nello Scenario 1: configurazione al 2016.

COLLETTORE	S _{affidente} [km ²]	SCENARIO 0			SCENARIO 1			
		t _c [hr]	S _c [hr]	CN _{corretto}	t _c [hr]	S _c [hr]	CN	CN _{corretto}
01-Pagliaga	1.335	2.111	10.556	76.4	2.111	10.556	81.9	76.4
02-Altinate	1.247	2.379	11.897	75.1	2.379	11.897	80.6	75.1
03-Ca' Solaro	0.586	1.833	9.167	75.6	1.833	9.167	81.1	75.6
04-Acque Alte Cattal	2.478	2.500	12.500	76.7	2.500	12.500	82.2	76.7
05-Acque Medie Cattal	2.519	3.131	15.653	77.1	3.131	15.653	82.6	77.1
06-Acque Medie Cattal	0.600	1.522	7.611	77.2	1.522	7.611	82.7	77.2
07-Acque Medie Cattal	0.166	0.789	3.944	78.8	0.789	3.944	84.3	78.8
08-Acque Medie Cattal	0.219	0.900	4.500	74.6	0.900	4.500	80.1	74.6
09-Acque Medie Cattal	0.551	1.186	5.928	75.0	1.186	5.928	80.5	75.0
10-Acque Medie Cattal	0.591	1.467	7.333	75.4	1.467	7.333	80.9	75.4
11-Canaletta Irrigua	1.209	2.223	11.117	77.6	2.223	11.117	83.1	77.6
12-Fornasotti	1.107	1.204	6.022	77.5	1.204	6.022	83.0	77.5
13-Collettore Cattal	2.272	2.571	12.856	77.3	2.571	12.856	82.8	77.3
14-Acque Basse Cattal	0.751	2.079	10.394	77.9	2.079	10.394	83.4	77.9
15-Acque Basse Cattal	0.987	1.771	8.853	77.9	1.771	8.853	83.4	77.9
16-Collettore Pagliagheta	0.331	1.541	7.703	77.5	1.541	7.703	83.0	77.5
17-Collettore Pagliagheta	0.176	1.467	7.333	75.8	1.397	6.986	79.5	76.7
18-Collettore Pagliagheta	0.358	0.917	2.750	82.0	0.917	2.751	84.9	82.0
19-Collettore Pagliagheta	0.331	0.861	2.583	81.6	0.820	2.460	85.1	82.3
20-Collettore Pagliagheta	0.202	0.894	3.041	76.8	0.851	2.895	81.7	78.9
21-Collettore Pagliagheta	0.766	1.500	4.500	78.8	1.429	4.286	82.3	79.4
22-Collettore Pagliagheta	0.140	0.900	3.060	82.4	0.900	3.060	85.2	82.4
23-Collettore Pagliagheta	0.020	0.700	2.380	68.5	0.700	2.380	74.3	68.5

Come evidenziato alla precedente tabella gli interventi previsti in sede aeroportuale interessano esclusivamente quattro dei sottobacini individuati a livello idrologico.

Nelle successive figure (da Figura 7.7 a Figura 7.10) sono riportati a confronto, per i diversi tempi di ritorno, gli idrogrammi di piena generati da ciascun sottobacino che nel passaggio dalla configurazione attuale (Scenario 0) alla configurazione al 2016 (Scenario 1) subiscono una modifica nei parametri che ne caratterizzano il comportamento idrologico.

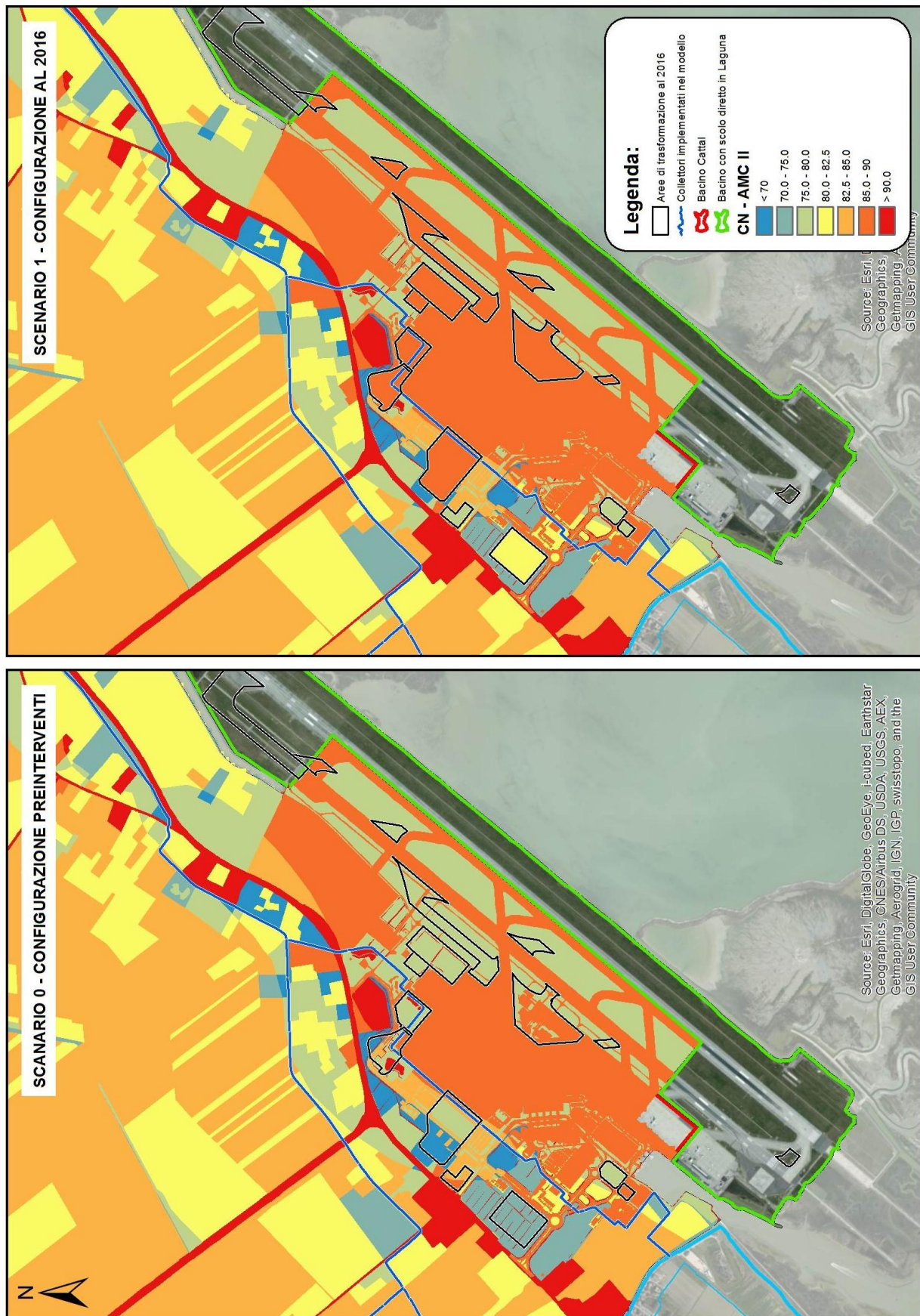


Figura 7.6. Rappresentazione del parametro CN – AMC II all’interno del bacino Cattal corretto in base alla pendenza. Confronto tra la *Configurazione preinterventi* e la *Configurazione al 2016*.

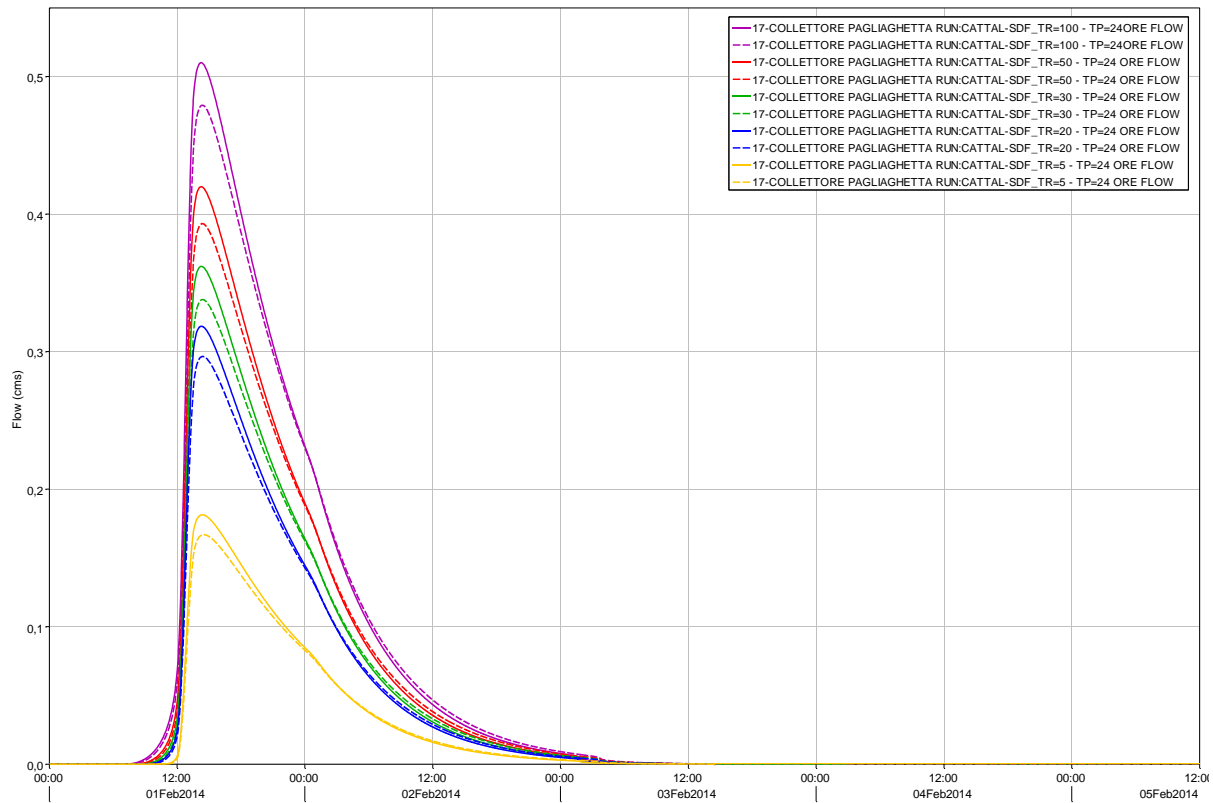


Figura 7.7. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “17 – Collettore Pagliaghetta”. Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto per i diversi tempi di ritorno.

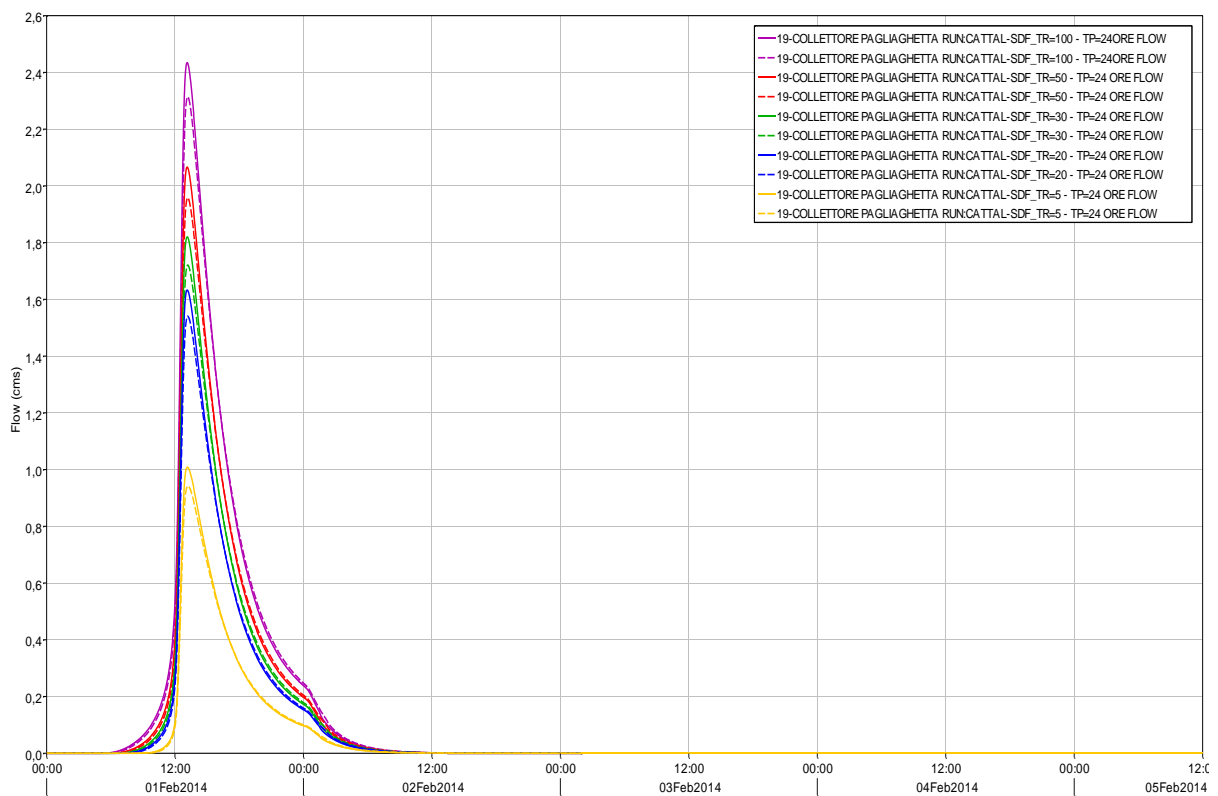


Figura 7.8. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “19 – Collettore Pagliaghetta”. Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto per i diversi tempi di ritorno.

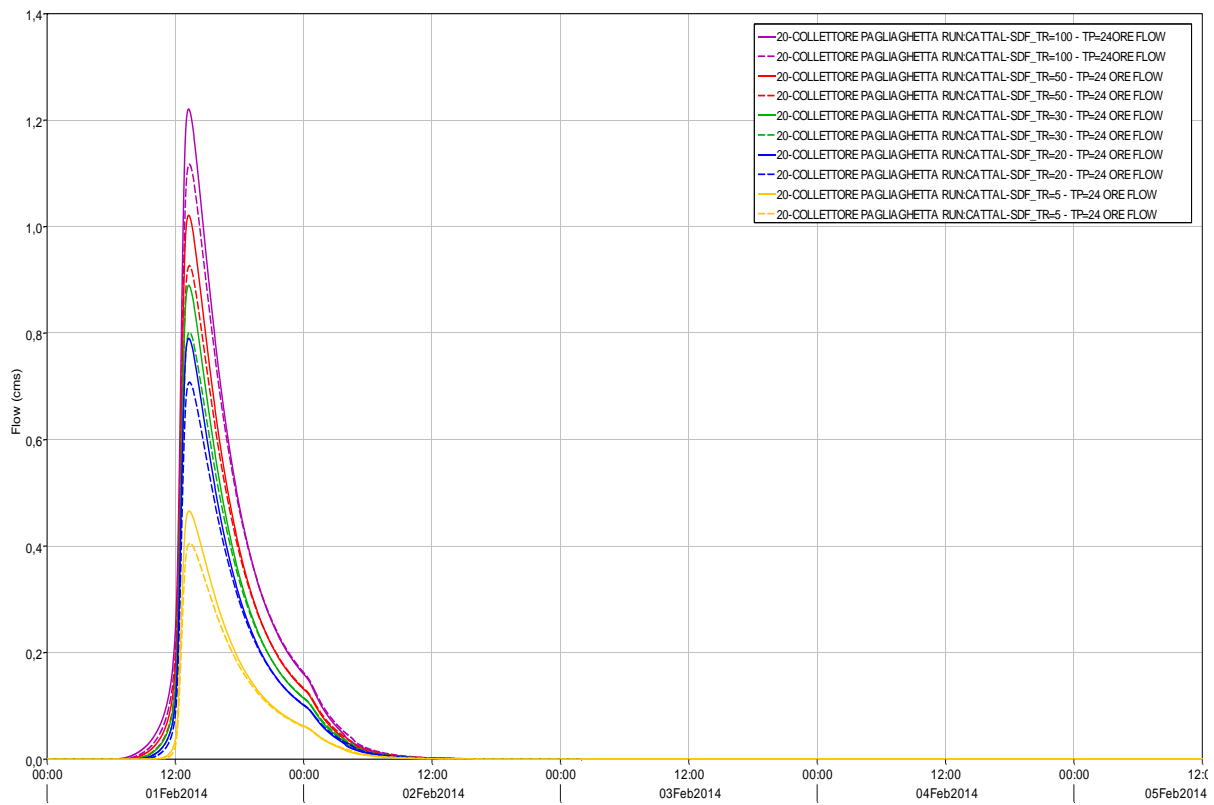


Figura 7.9. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “20 – Collettore Pagliaghetta”. Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto per i diversi tempi di ritorno.

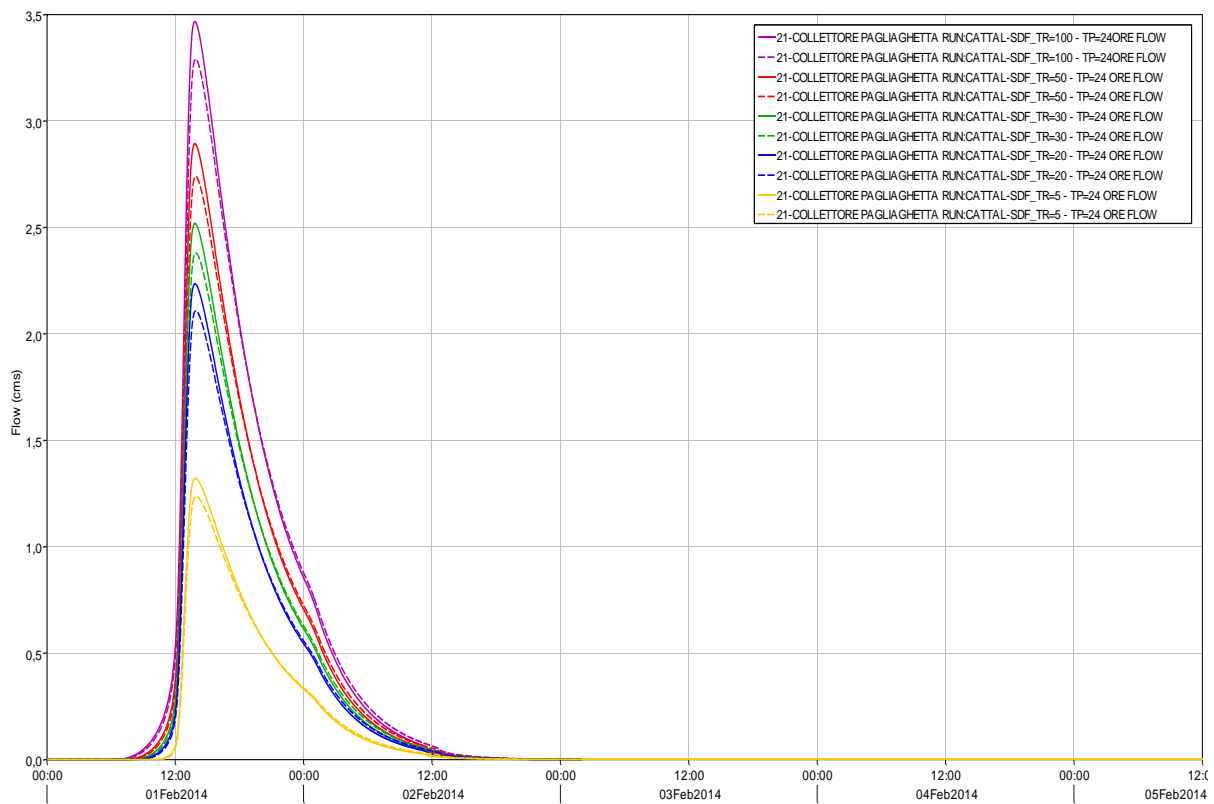


Figura 7.10. Idrogrammi di piena in uscita dal sottobacino “21 – Collettore Pagliaghetta”. Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto per i diversi tempi di ritorno.

Utilizzando la possibilità offerta dal modello HEC-HMS di implementare, già in sede idrologica, i collettori al fine d'individuare preliminarmente gli idrogrammi di piena del sedime aeroportuale e del comparto di bonifica, si riporta nella successiva Figura 7.11 esclusivamente l'idrogramma generato dal sedime aeroportuale, non modificandosi quello relativo all'insieme dei comparti Acque Medie e Acque Alte Cattal senza il contributo aeroportuale.

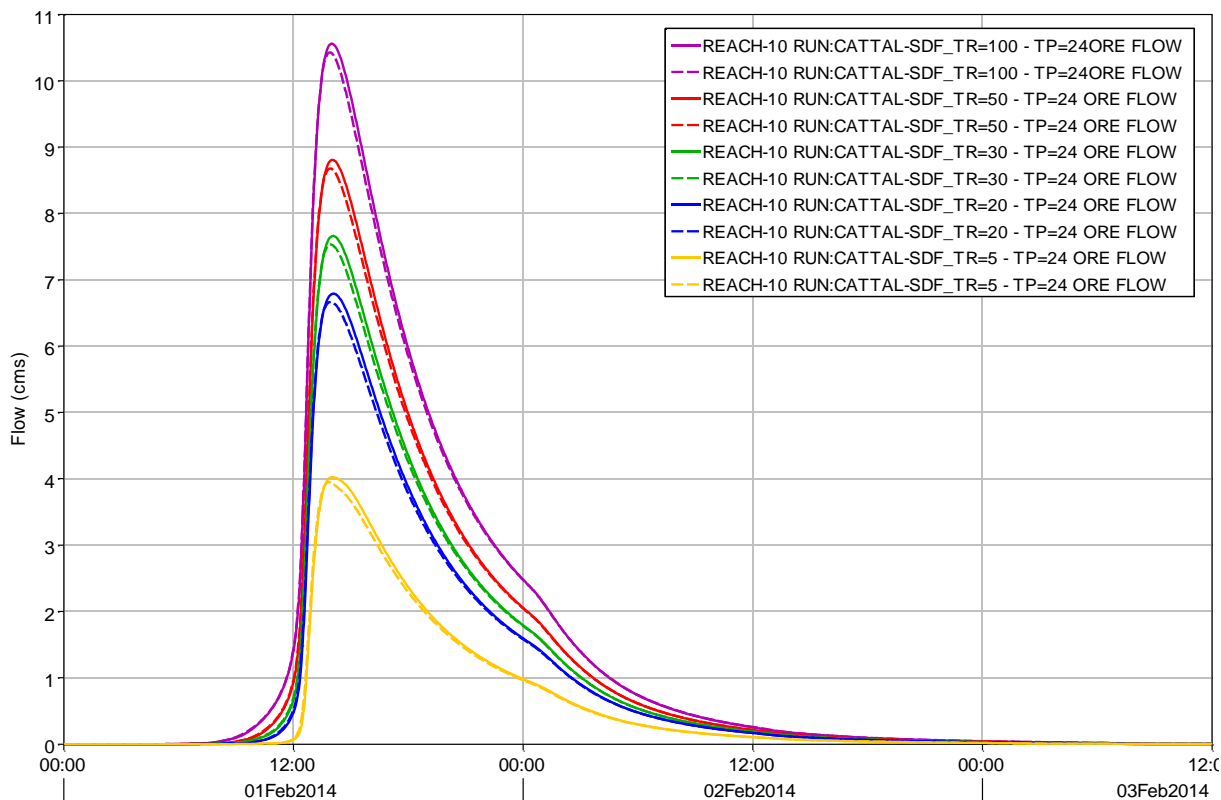


Figura 7.11. Idrogrammi di piena in uscita dal sedime aeroportuale per i diversi Tr. Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto.

Il risultato principale derivante dall'analisi degli idrogrammi proposti può essere riassunto calcolando il coefficiente udometrico relativo ai picchi di piena per ciascun tempo di ritorno considerato, riportato alla successiva Tabella 7.3.

Tabella 7.3. Portate di picco e coefficienti udometrici del sedime aeroportuale: Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto.

Sedime Aeroportuale – S = 232 ha					
Scenario 0			Scenario 1		
Tr	Qmax [m ³ /s]	u [l/s ha]	Tr	Qmax [m ³ /s]	u [l/s ha]
5	3.95	17.03	5	4.02	17.33
20	6.66	28.71	20	6.79	29.27
30	7.53	32.46	30	7.66	33.02
50	8.68	37.41	50	8.81	37.97

100	10.43	44.96	100	10.56	45.52
-----	-------	-------	-----	-------	-------

Determinati i parametri di input per il modello idraulico, è quindi possibile procedere all'esecuzione delle simulazioni in HEC-RAS al fine di ottenere i principali parametri idrodinamici con riferimento alla rete implementata: l'obiettivo voluto è quello di verificare gli effetti a scala di bacino degli interventi in corso di realizzazione o progettazione in sedime aeroportuale.

7.1.3 Il modello idraulico nello Scenario 1: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2016

I risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello idrologico in HEC-HMS e riportati per sommi capi al precedente paragrafo, hanno costituito le condizioni al contorno per l'analisi idrodinamica del sistema di scolo delle acque meteoriche effettuato mediante il modello HEC-RAS (Figura 7.12).

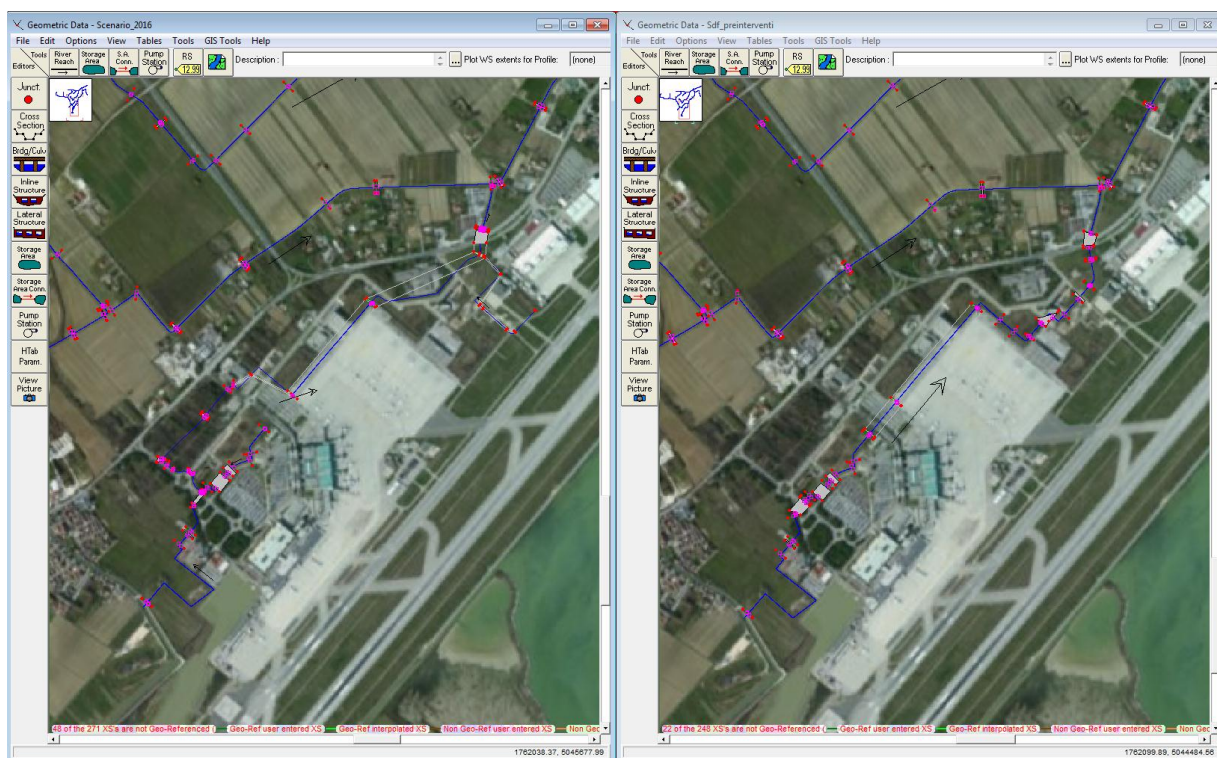


Figura 7.12. Collettori e opere idrauliche implementate nel modello HEC-RAS.
Scenario 0 – configurazione preinterventi e Scenario 1 – configurazione al 2016 a confronto.

Di seguito si riportano alle Figura 7.13, Figura 7.14 e Figura 7.15 i profili del pelo libero risultanti dall'applicazione del modello con riferimento ad una precipitazione rispettivamente con $T_r = 5 - 20 - 50$ anni. Non sono riportati, non subendo sostanziali modifiche rispetto alla configurazione preinterventi, i profili dei collettori nel comparto di bonifica.

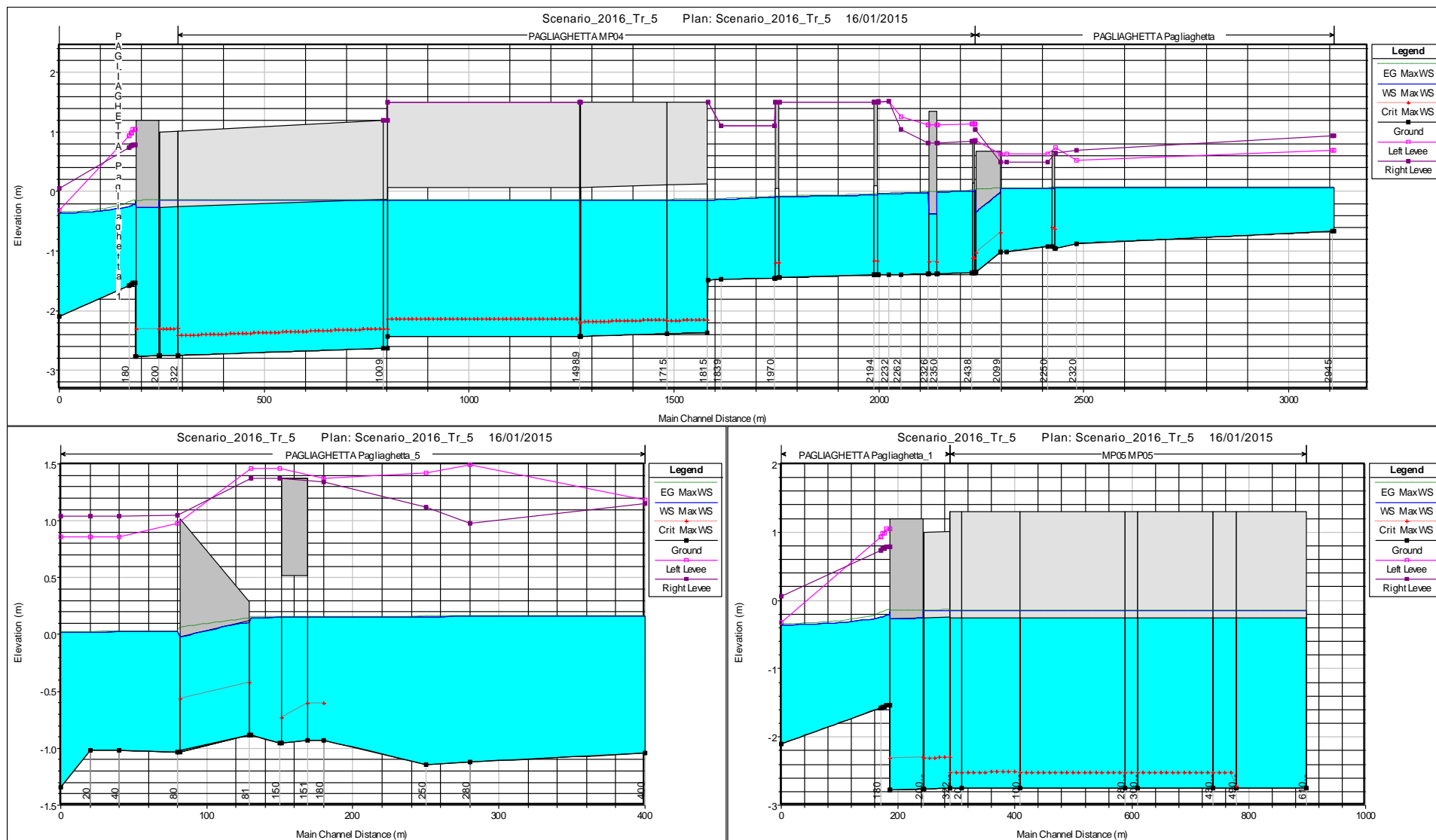


Figura 7.13. Involuppo dei livelli massimi nei collettori del sedime aeroportuale – Tr = 5 anni. Figura in alto, Collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine – Figura in basso a sinistra, Pagliaghetta ramo deviato – Figura in basso a destra, collettore MP05.

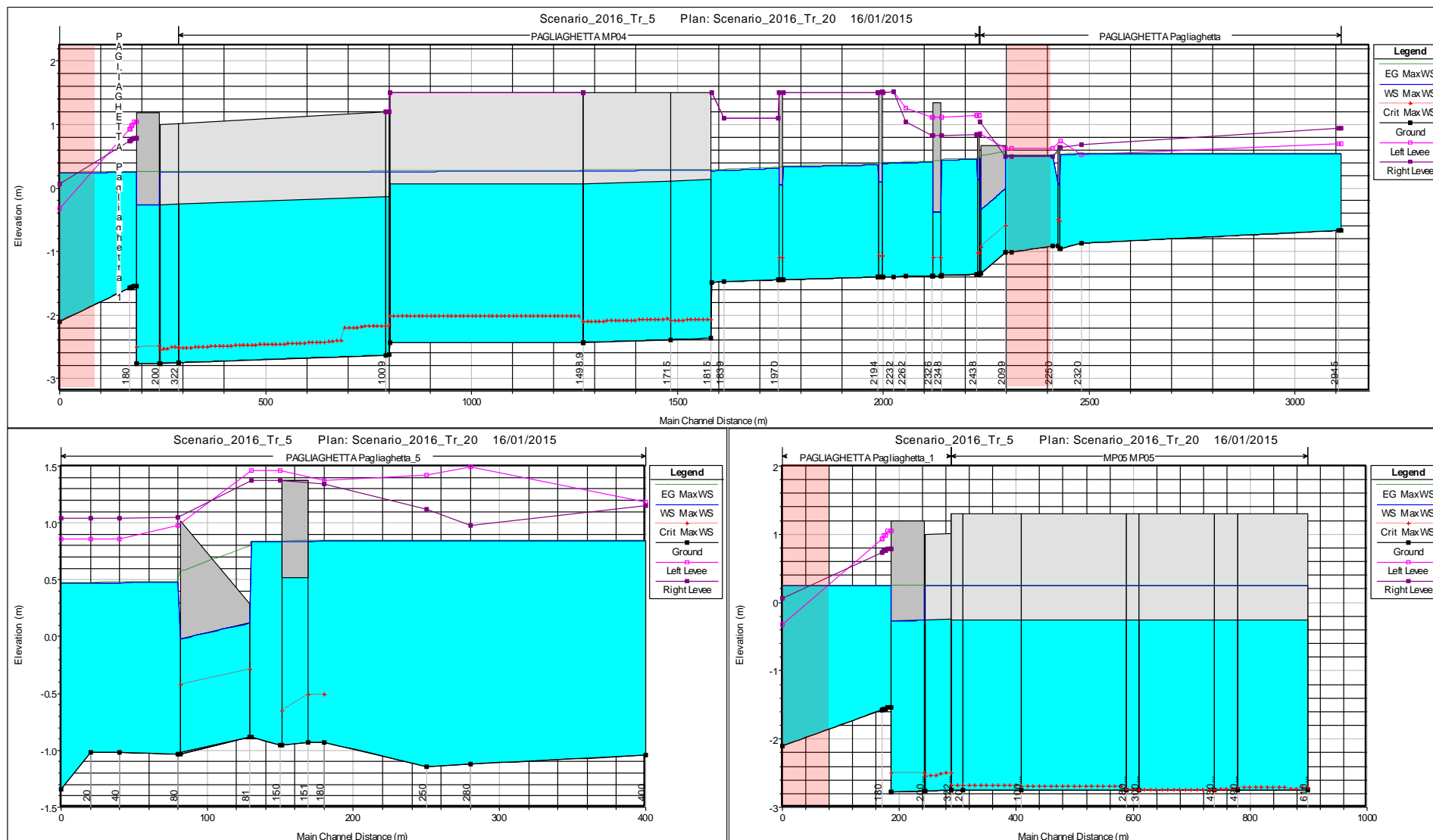


Figura 7.14. Involuppo dei livelli massimi nei collettori del sedime aeroportuale – Tr = 20 anni. Figura in alto, Collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine – Figura in basso a sinistra, Pagliaghetta ramo deviato – Figura in basso a destra, collettore MP05.

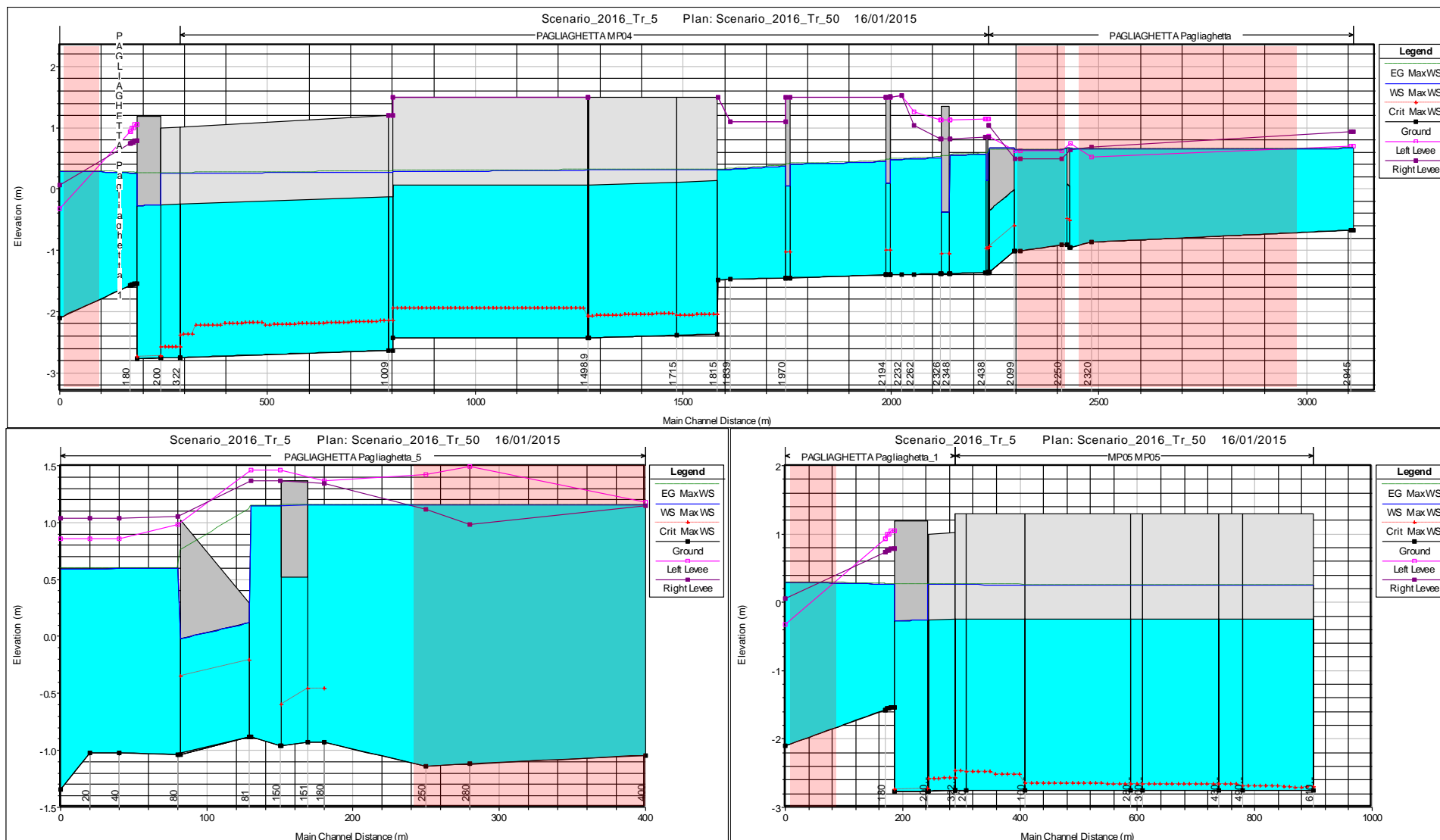


Figura 7.15. Involuppo dei livelli massimi nei collettori del sedime aeroportuale – Tr = 50 anni. Figura in alto, Collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine – Figura in basso a sinistra, Pagliaghetta ramo deviato – Figura in basso a destra, collettore MP05.

Quello che emerge da un'analisi dell'inviluppo dei livelli massimi lungo i collettori interessanti il sedime aeroportuale, è un sostanziale miglioramento delle condizioni di rischio idraulico attuali. Al contrario di quanto visto nella configurazione attuale e impiegata per la calibrazione del modello che vedeva già per frequenze probabili inferiori ai cinque anni fenomeni di allagamento, gli interventi proposti ed elencati brevemente al paragrafo 7.1.1 sono in grado di mettere a disposizione dei volumi di invaso tali da consentire una efficace laminazione delle portate di piena così da far emergere insufficienze di rete (tra l'altro limitata all'ambito di minor pregio posto a monte di via Galileo Galilei) solo a partire da eventi meteorici caratterizzati da un tempo di ritorno di 20 anni.

Va osservato come i risultati proposti siano comunque a favore di sicurezza in quanto l'effetto di rigurgito che si manifesta in conseguenza ai livelli allo sbocco nel collettore Cattal è sopravvalutato. Ciò è dipendente dall'impossibilità del modello di interpretare le perdite di portata e volume che si manifestano lungo la rete in conseguenza ai fenomeni di allagamento, già significativi per eventi meteorici caratterizzati da tempi di ritorno inferiori ai 5 anni.

7.2 Scenario 2: Configurazione al 2018

Lo scenario che si vuole analizzare nel presente paragrafo implementa nel modello idrologico-idraulico visto nello *Scenario 1* l'area di espansione, codificata all'interno del Master Plan Idraulico come MP.01, e il rizezionamento del collettore Pagliaghetta nel suo tratto terminale a valle della Triestina e il Collettore Cattal dall'immissione del Pagliaghetta sino all'opera di presa dell'MP.01.

Questo intervento rientra tra quelli che in sede di MP idraulico sono stati introdotti al fine di perseguire il duplice obiettivo di migliorare progressivamente la sicurezza idraulica del bacino aeroportuale e di garantire la compatibilità idraulica del medesimo rispetto alla rete di bonifica di valle seguendo l'evoluzione del bacino aeroportuale rispetto al sistema di bonifica di valle;

Al fine di garantire la compatibilità idraulica del bacino aeroportuale nei confronti del bacino ricettore di bonifica, si è scelto di considerare il bacino aeroportuale come un sistema unitario, superando quindi l'analisi d'invarianza idraulica estesa ad ogni singolo intervento di infrastrutturazione. Tale assunzione sottende una condizione di incompatibilità idraulica, già allo stato attuale, del bacino aeroportuale rispetto alla rete ricettrice di bonifica, incompatibilità ad oggi latente poiché calmierata dagli effetti di laminazione prodotta da

locali esondazioni in aree attualmente a verde e conseguenti a puntuali colli di bottiglia presenti lungo il collettore Pagliaghetta all'interno del sedime aeroportuale.

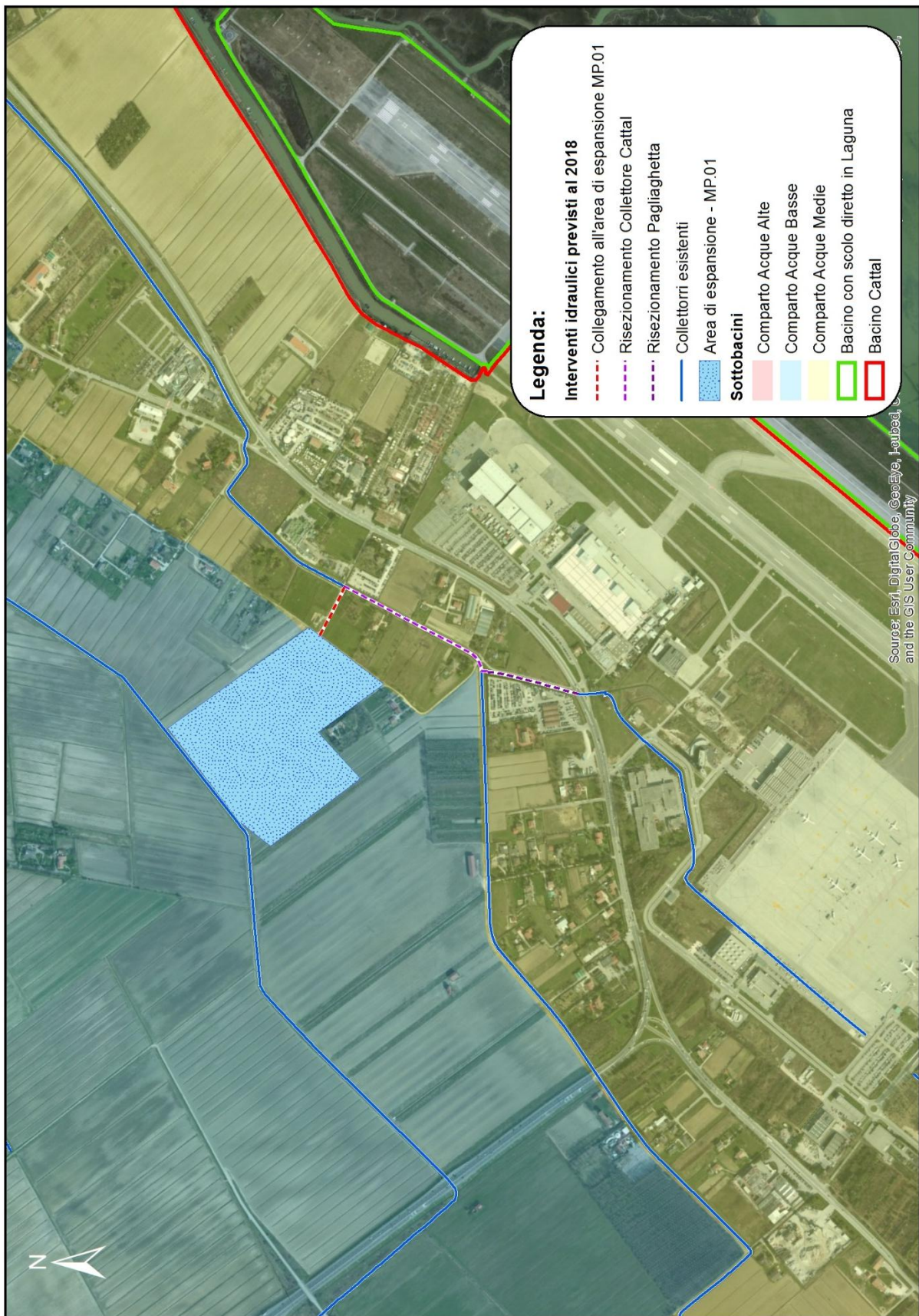


Figura 7.16. Interventi implementati nel modello nello Scenario 2 – Configurazione al 2018.

7.2.1 Gli interventi implementati nello Scenario 2

7.2.1.1 L'intervento MP.01: area di espansione sistema acque medie

L'Intervento MP.01 - Area di espansione sistema Acque Medie rappresenta un importante intervento ai fini della sicurezza idraulica, non solo per l'area aeroportuale ma anche per il bacino di bonifica Cattal. L'intervento consiste nella realizzazione di un'area di espansione a servizio del collettore Cattal Acque Medie. L'area individuata è posta a valle dell'immissione del canale Pagliaghetta nel Cattal Acque Medie, e sorgerebbe su un lotto già di proprietà SAVE, idraulicamente intercluso tra i collettori Cattal Acque Medie e Cattal Acque Basse. Il dislivello esistente tra i due collettori, le cui quote di fondo sono rispettivamente pari a -2.2 m e -2.4 m s.m.m. consentirebbe il funzionamento a gravità dell'area di espansione. Il progetto prevede lo sfruttamento agricolo dell'area, e il suo temporaneo allagamento al verificarsi di condizioni particolarmente gravose per il sistema idraulico di scolo.

L'area, opportunamente sistemata attraverso la realizzazione di arginature laterali e lo scavo e la sistemazione del fondo, occuperebbe una superficie di circa 15 ha consentendo di invasare un volume dell'ordine dei $150'000$ m³.

La realizzazione dell'invaso consente di ridurre le portate di piena provenienti dall'aeroporto.



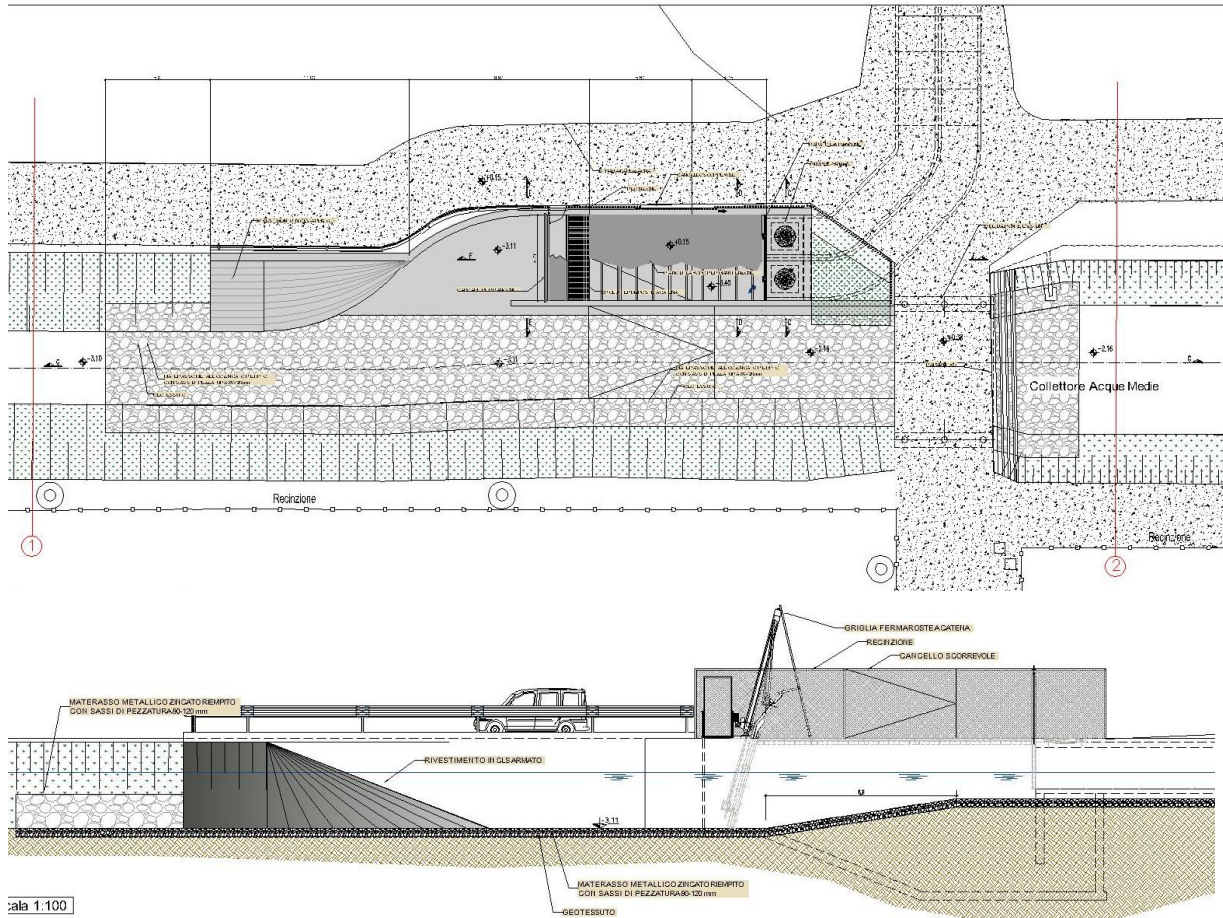


Figura 7.18. Dettagli opera di presa dell'area di espansione MP.01 in progetto.

Nella successiva Figura 7.19 si riporta il grafico livello - volume per l'area di espansione MP.01.

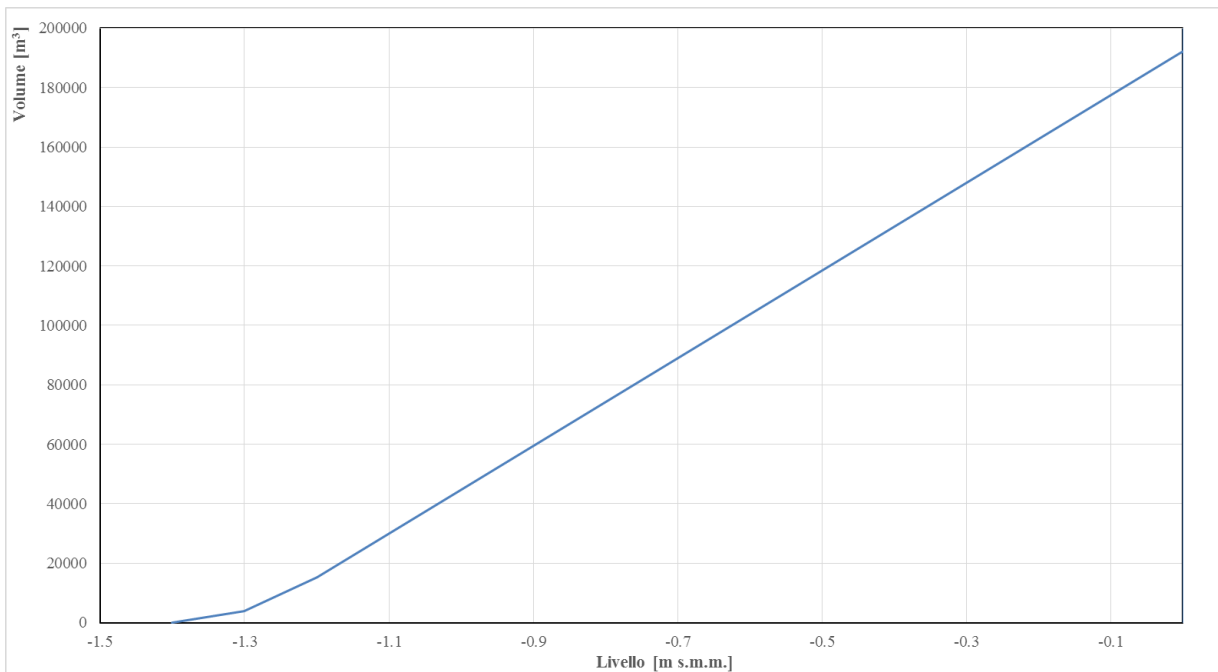


Figura 7.19. Area di espansione sistema Acque Medie Cattal. Curva livello - volume.

7.2.1.2 L'intervento MP.02 (intervento 6.05 modificato – I Stralcio): ricalibratura scoli Pagliaghetta e Cattal Acque Medie fino alla derivazione nell'area di espansione

Come emergerà con maggior dettaglio e chiarezza nella successiva configurazione d'analisi, alla luce della nuova pianificazione aeroportuale, ed in particolare con riferimento all'intervento 4.14 (Riqualifica e adeguamento normativo infrastrutture di volo), in sede di MPI si è evidenziato che la posizione della nuova idrovora consortile dello scolmatore Cattal (Intervento 6.05) potrebbe interferire con le aree di sviluppo della pista previste dal Masterplan generale, ricadendo all'interno della futura airside.

Sulla base di queste considerazioni in sede di MPI si è proposto lo spostamento a valle dell'idrovora consortile, in posizione congruente con la futura configurazione delle piste e con i progetti delle nuove opere idrauliche a servizio dell'area aeroportuale. Il nuovo progetto dovrà comprendere la stessa tipologia di interventi previsti nel progetto attuale: ricalibratura di un ulteriore tratto del canale Cattal Acque Medie fino al nuovo attraversamento della S.S. Triestina, attraversamento della S.S. Triestina mediante botte a sifone, area di espansione da utilizzare eventualmente a fini di fitodepurazione, edificio dell'impianto idrovoro realizzato in modo tale da garantire il posizionamento anche della futura idrovora aeroportuale.

Dovrà inoltre essere realizzato un tratto di canale provvisorio di scarico dell'idrovora che consenta il recapito delle portate sollevate dall'idrovora nel canale Osellino.

In merito alla portata del nuovo impianto idrovoro consortile si ribadisce quanto emerso dalle analisi condotte nel presente studio: per il raggiungimento di condizioni di maggior sicurezza idraulica, per tempi di ritorno superiori ai 20 anni, è necessario realizzare il raddoppio della capacità di sollevamento dell'idrovora (la cui predisposizione è già prevista nel progetto 6.05), innalzando da 8 a 16 m³/s la portata sollevata mediante l'installazione di due ulteriori pompe.

Per il 2018, ossia per lo scenario in analisi, l'obiettivo è di realizzare solamente un primo stralcio che prevede il risezionamento del canale Pagliaghetta e del canale Cattal Acque Medie, nel tratto che va dall'uscita dal bacino aeroportuale fino al manufatto d'immissione nell'area di espansione prevista dall'intervento MP.01 descritto al paragrafo 7.2.1.1.

7.2.2 Il modello idrologico-idraulico nello Scenario 2: implementazione degli interventi infrastrutturali al 2018

I risultati in termini idrologici proposti al par. 7.1.2 rimangono validi ed applicabili anche con riferimento alla configurazione al 2018 non essendo previsti interventi infrastrutturali in grado di modificare il bacino in termini di risposta idrologica nel transitorio.

Una analisi di questa configurazione comporta così esclusivamente lo studio del comportamento idrodinamico della rete del bacino Cattal attraverso l'implementazione della geometria degli interventi elencati e descritti al paragrafo 7.2.1 senza alcuna modifica intorno alle condizioni al contorno in termini di idrogrammi in ingresso (Figura 7.20).

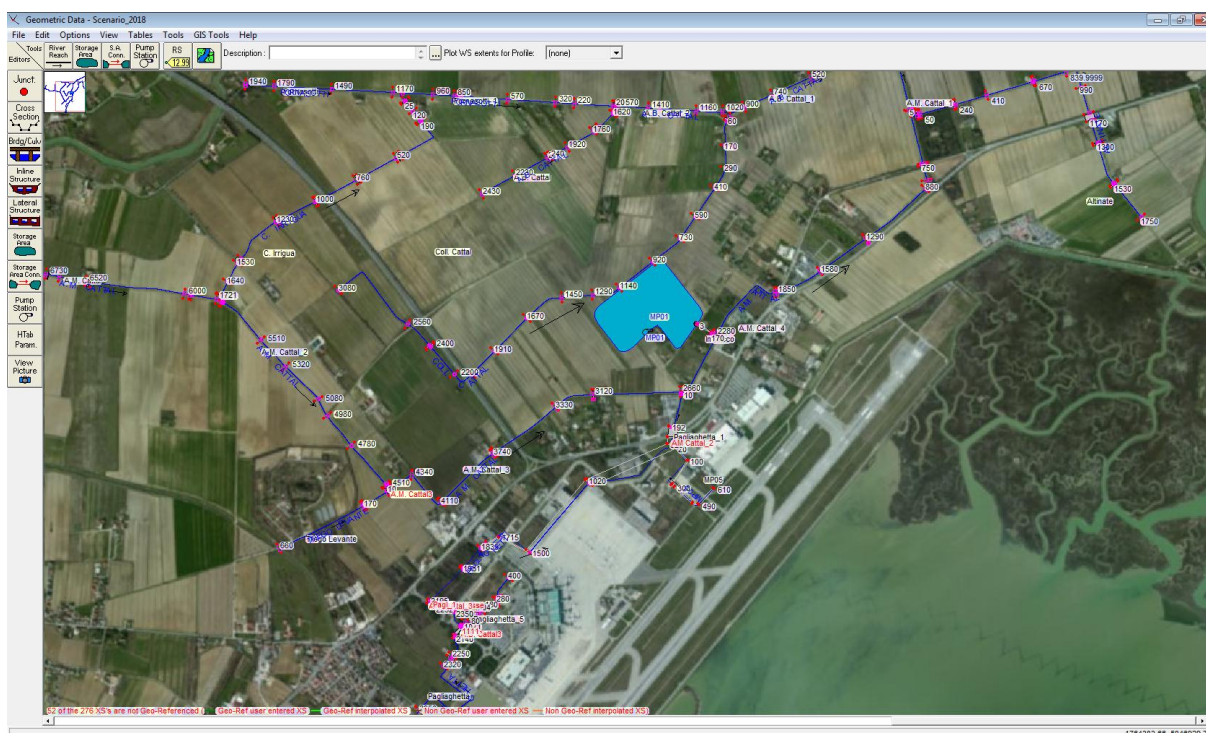


Figura 7.20. Implementazione nel modello HEC-RAS degli interventi infrastrutturali al 2018.
Scenario 2 – configurazione al 2018.

Di seguito si riportano alle Figura 7.21 i profili del pelo libero risultanti dall'applicazione del modello con riferimento ad una precipitazione con $Tr = 20$ anni.

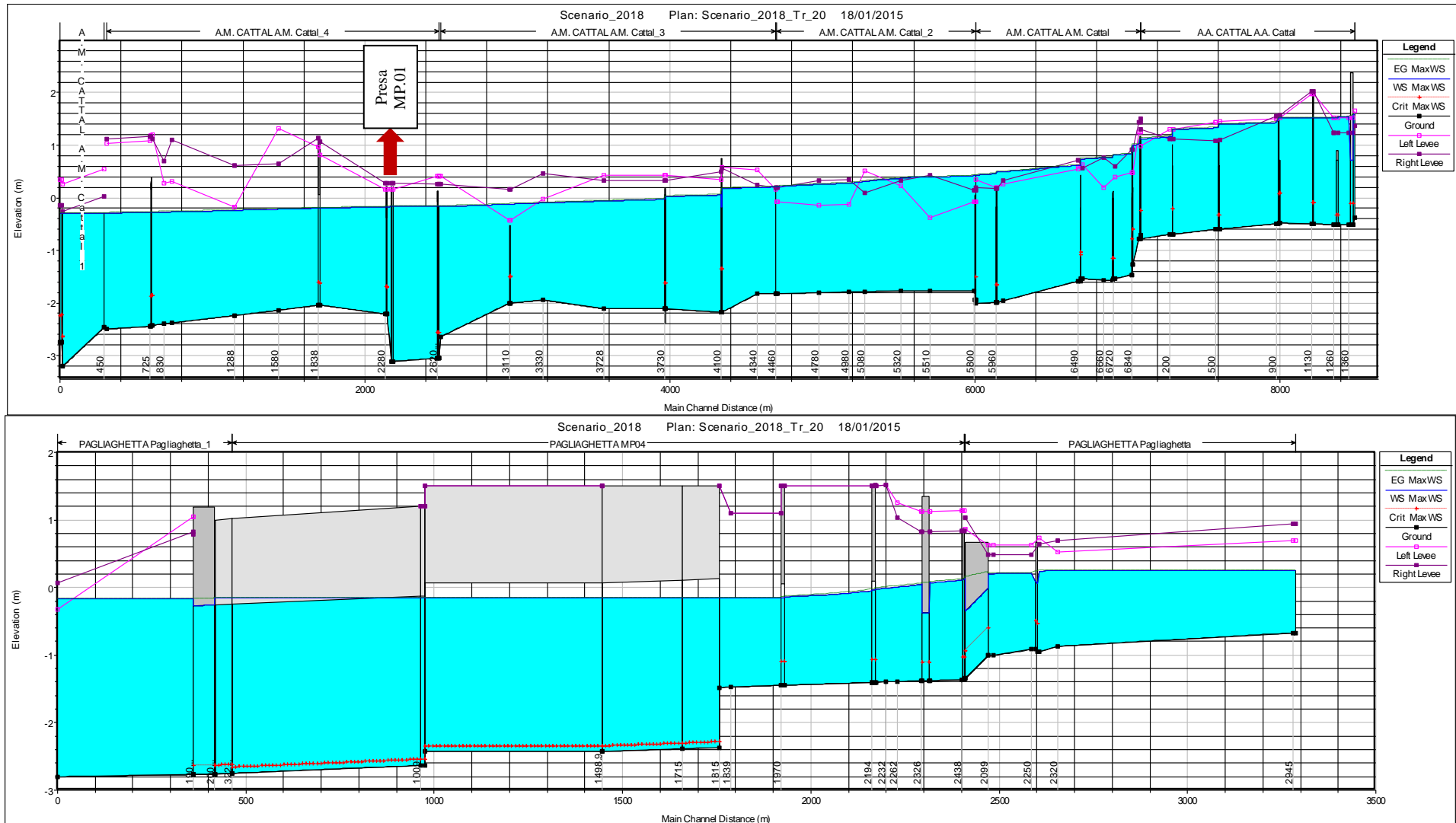


Figura 7.21. Involuppo dei livelli massimi – Tr = 20 anni. Figura in alto, Collettore Acque Alte e Acque Medie Cattal fino all'idrovora – Figura in basso, Collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine.

Quello che emerge dall'analisi dei profili riportati è un sostanziale effetto di riduzione dei livelli lungo i collettori del sistema Acque Medie Cattal. In particolare confrontando il profilo del nuovo tracciato del Collettore Pagliaghetta prima e dopo l'implementazione dell'area di espansione MP.01 (Figura 7.14 - Figura 7.21), si può notare un importante effetto di laminazione in grado, con riferimento ad un $Tr = 20$ anni, di evitare il raggiungimento del cielo della condotta scatolare 4,0 x 2,5 m posta sotto i piazzali aeromobili.

In realtà come più volte ribadito nel corso della presente relazione, l'insufficienza della rete di bonifica porta ad una importante sopravvalutazione dei livelli e dei volumi in transito lungo la rete e quindi a una sopravvalutazione dei volumi invasati all'interno dell'area di espansione MP.01. È evidente come tale effetto sia tanto più importante quanto più la differenza di livello tra la quota del pelo libero e livello in cassa sia esiguo. Nel caso in esame la quota vincolante del fondo cassa è pari a $-1,20$ m s.m.m. mentre la quota lungo il collettore Pagliaghetta non dovrebbe superare i $-0,20$ m s.m.m.. Così, sapendo che il massimo dislivello è pari a $1,0$ m e che esso va progressivamente diminuendo mano a mano che la cassa si riempie, è del tutto evidente come l'effetto di una sopravvalutazione dei livelli lungo il Collettore Cattal possa compromettere in misura non trascurabile i risultati in termini di volume invasato.

Ne segue la necessità di interpretare, pur attraverso l'impiego di un modello monodimensionale, l'effetto di laminazione che si viene a generare lungo la rete di bonifica in conseguenza ai diffusi allagamenti che interessano il comparto di monte rispetto al sedime dell'area di espansione.

A tale scopo, in corrispondenza dei punti di tracimazione lungo i collettori, individuati mediante il modello in HEC-RAS e graficamente riportati in Figura 6.4, sono state perimetrare alcune aree, sulla base del rilievo altimetrico del Lidar, all'interno delle quali si presume essere contenuto l'evento di esondazione. Mediante l'utilizzo di software GIS, che consente di intersecare un piano avente quota determinata (che simula il tirante idraulico) con il DEM del terreno e restituisce un valore di area e volume sottesi dal piano stesso, è stata costruita la curva tiranti-volume delle suddette aree di allagamento. Nel modello si sono così interpretati i fenomeni di allagamento introducendo altrettanti sfioratori laterali lungo la rete in corrispondenza alle criticità riscontrate, in grado di trasferire le acque tracimanti entro un'area di espansione descritta dalla curva tiranti-volumi calcolata secondo le modalità descritte. In questo modo, pur in termini qualitativi e monodimensionali, è stato possibile non solo descrivere l'effetto di laminazione legato all'allagamento negli ambiti di bonifica, ma

anche l'effetto di interscambio tra corrente principale e allagamento senza che venisse meno la considerazione dei volumi meteorici.

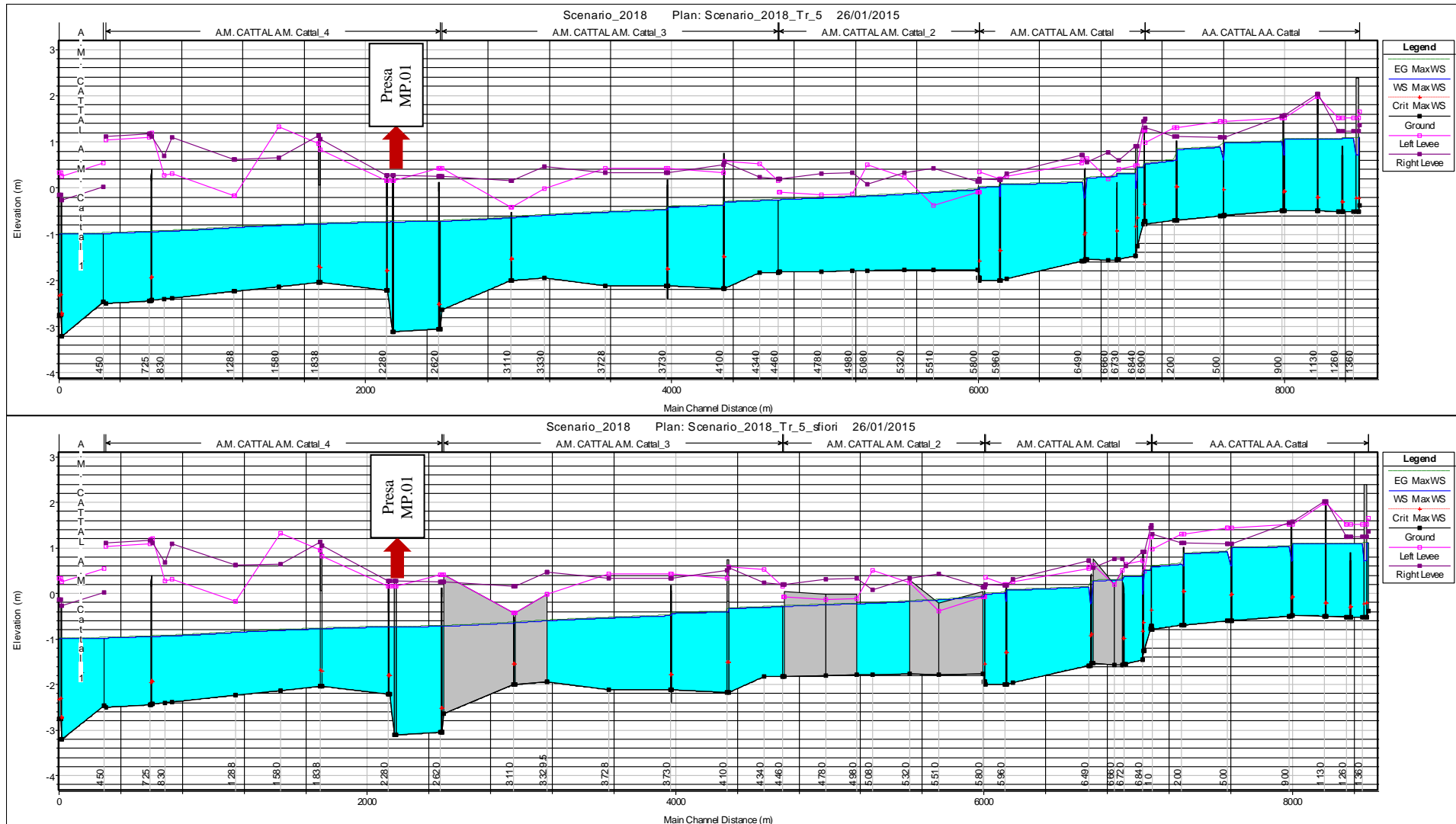


Figura 7.22. Involuppo dei livelli massimi lungo i collettori Acque Alte e Acque Medie Cattal fino all'idrovora – Tr = 5 anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti – Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

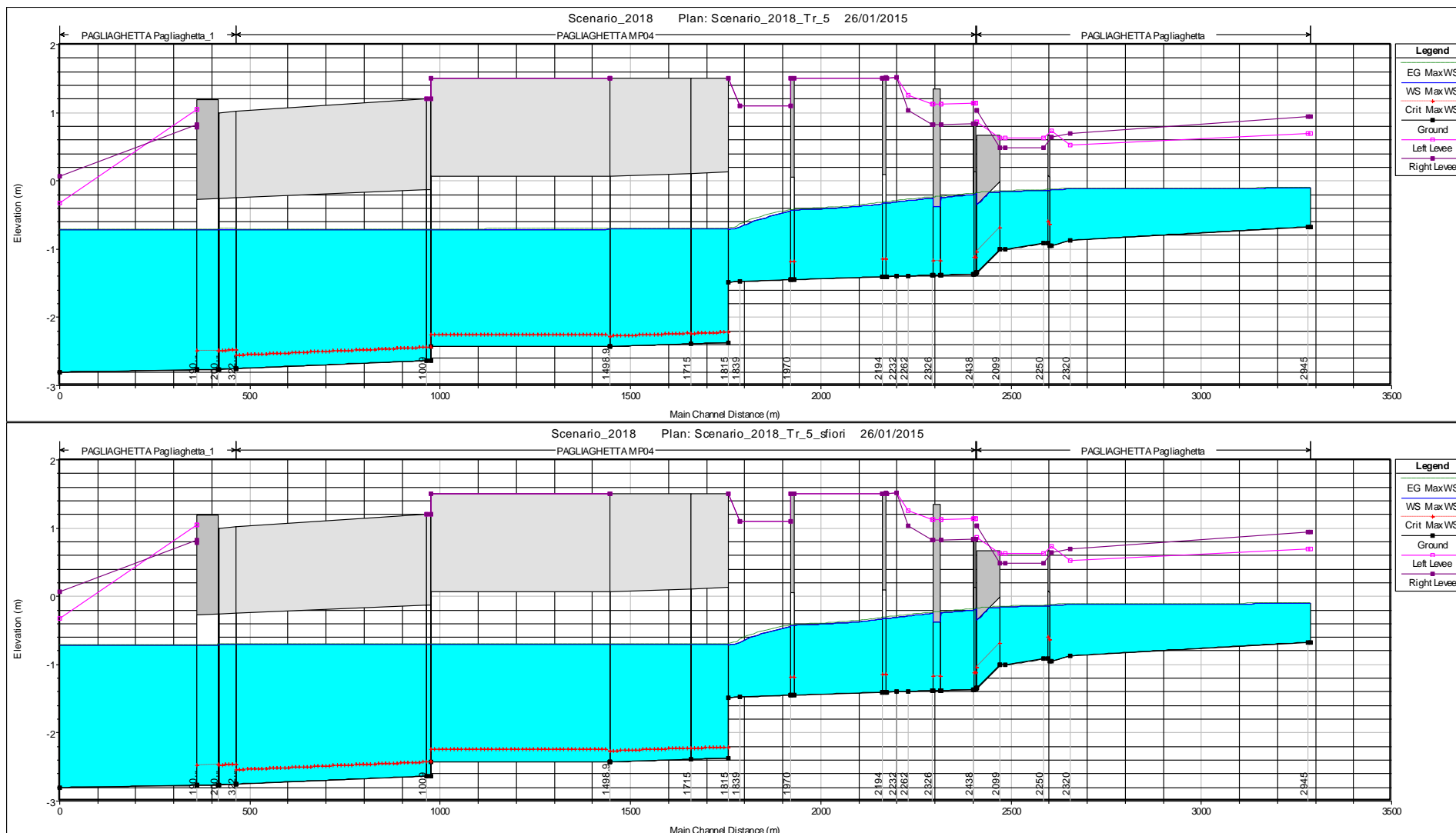


Figura 7.23. Inviluppo dei livelli massimi lungo il collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine - $Tr = 5$ anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti - Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

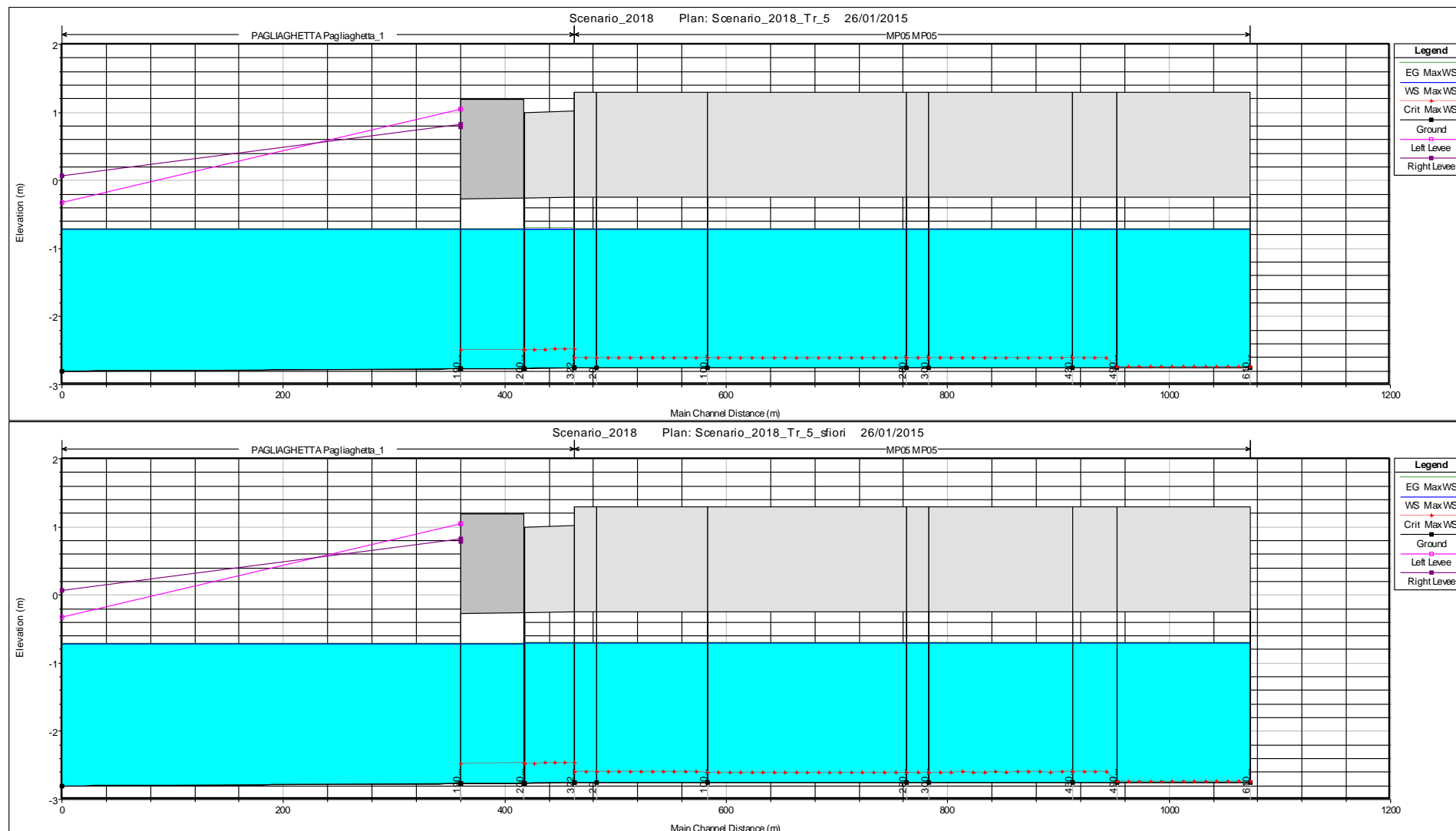


Figura 7.24. Involuppo dei livelli massimi lungo il collettore MP.05 e tratto terminale del Pagliaghetta – Tr = 5 anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti – Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

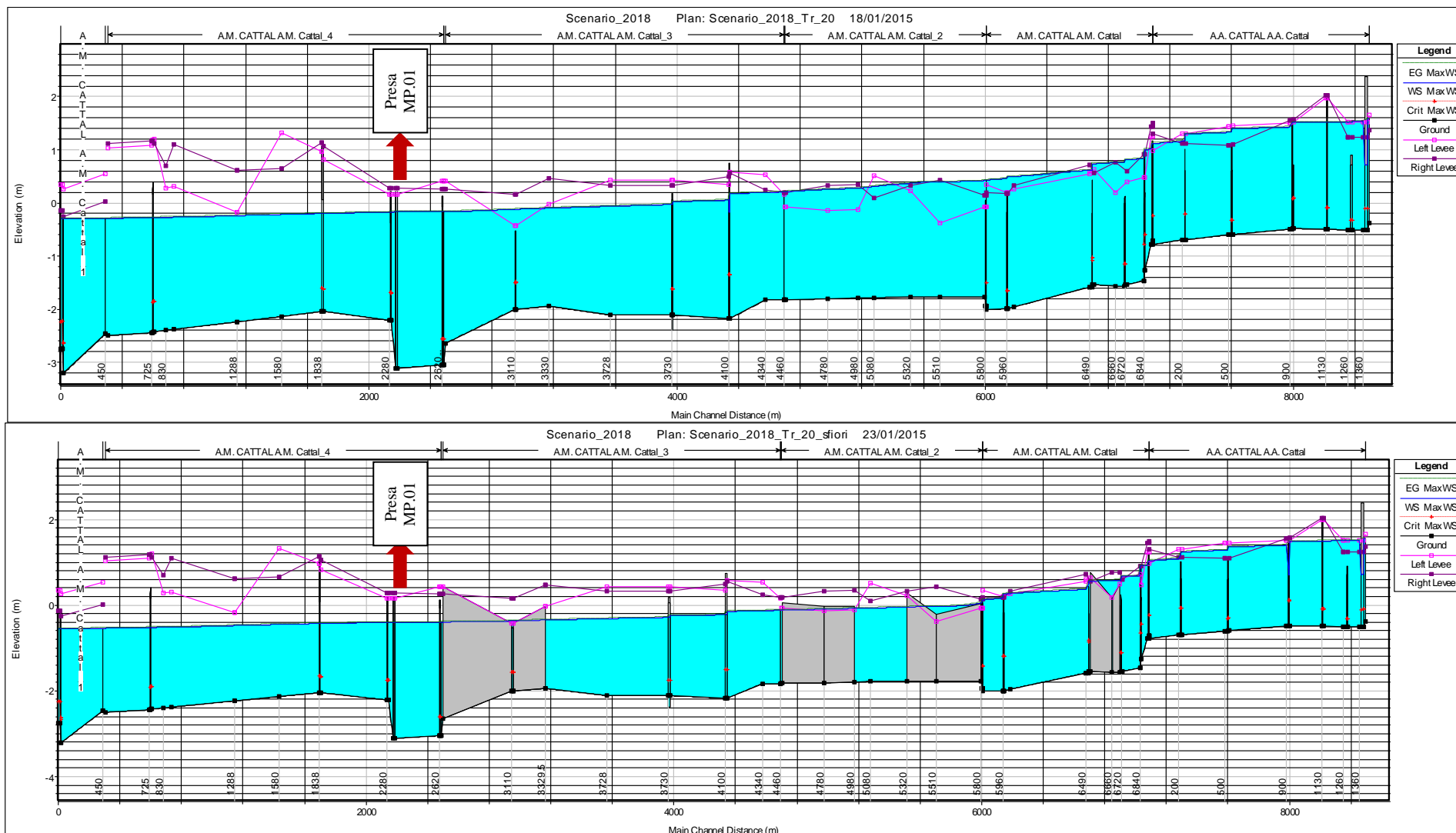


Figura 7.25. Involuppo dei livelli massimi lungo i collettori Acque Alte e Acque Medie Cattal fino all'idrovora – Tr = 20 anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti – Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

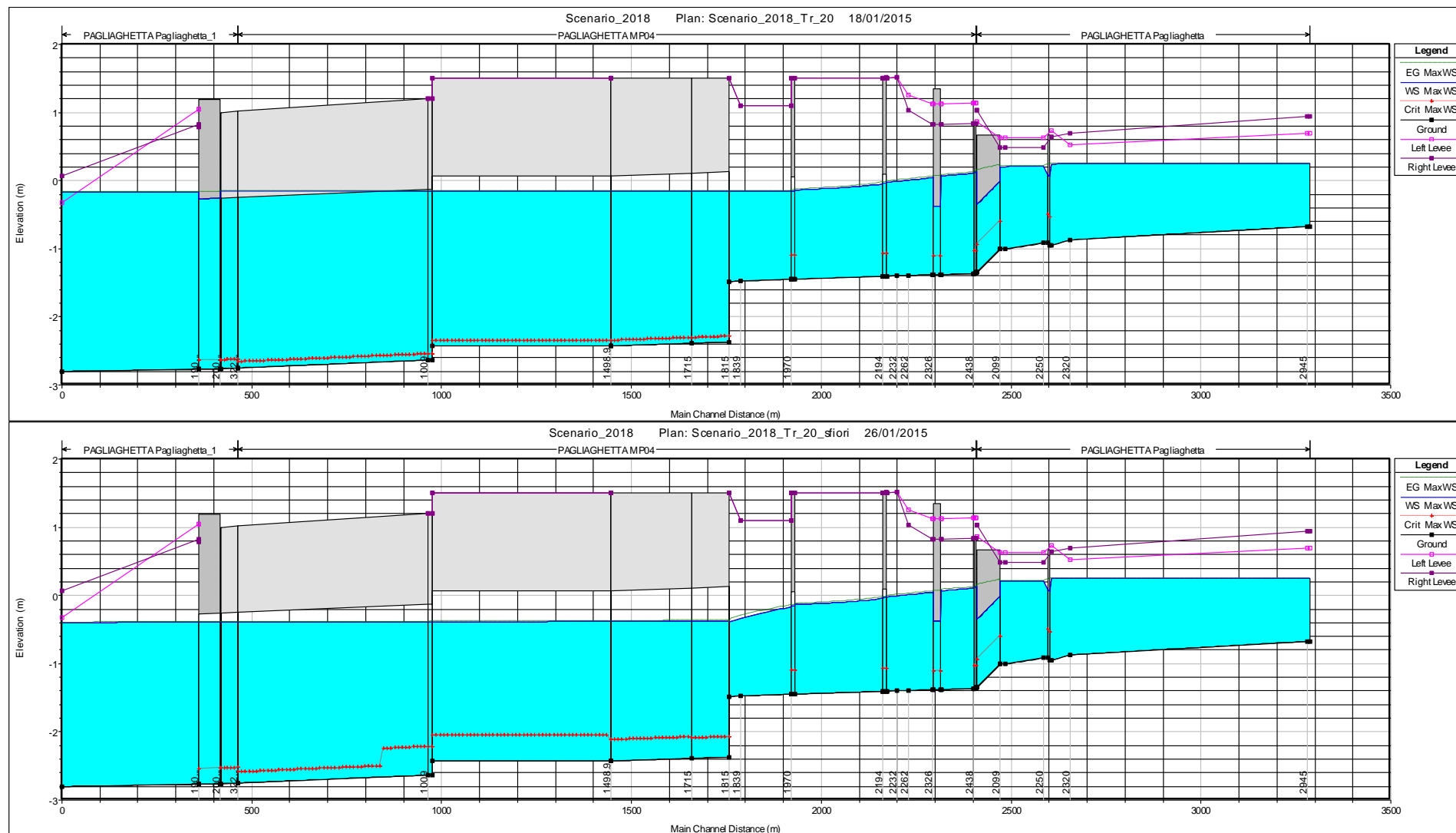


Figura 7.26. Involuppo dei livelli massimi lungo il collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine - Tr = 20 anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti - Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

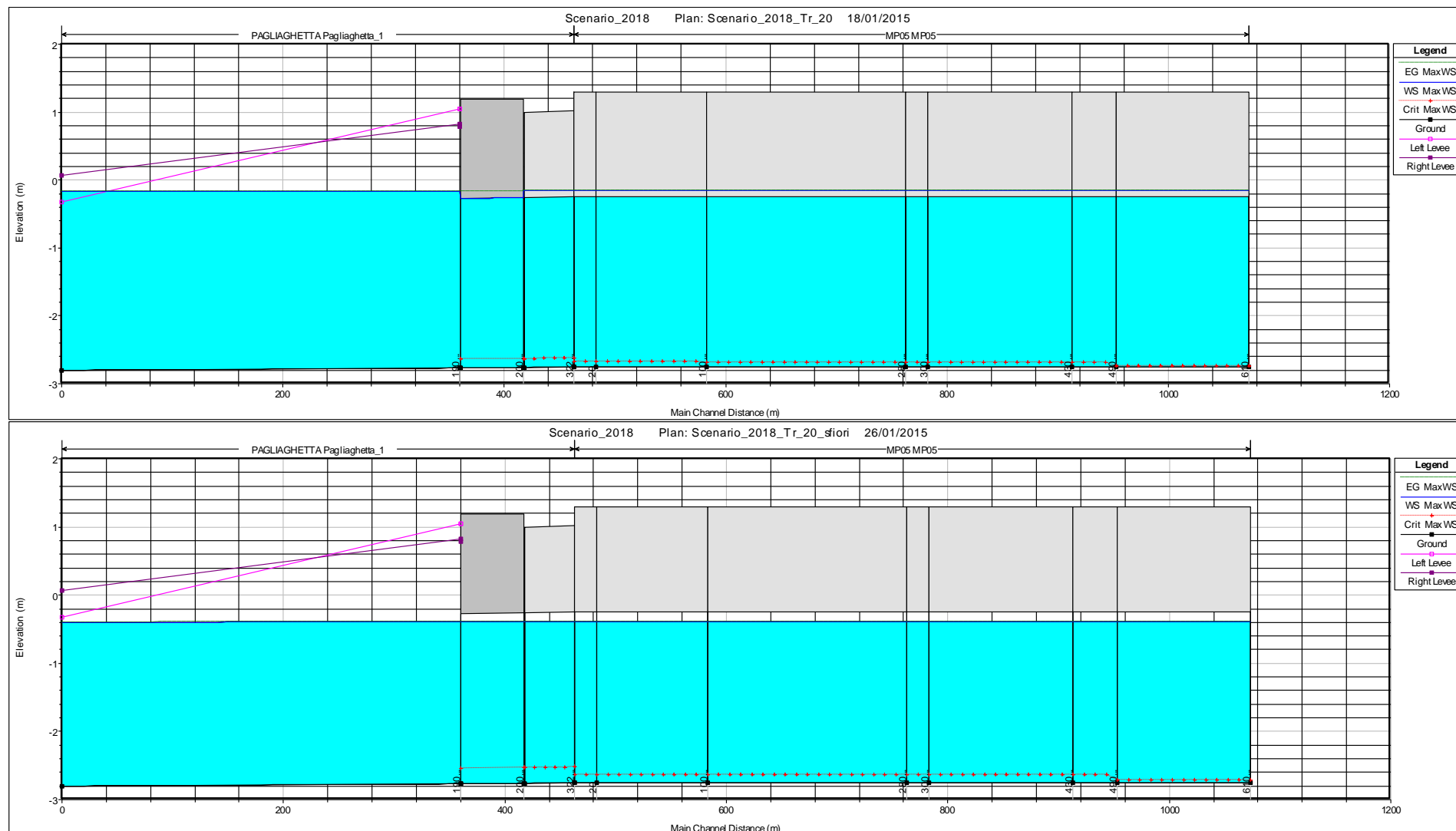


Figura 7.27. Involuppo dei livelli massimi lungo il collettore MP.05 e tratto terminale del Pagliaghetta – Tr = 20 anni.
 Figura in alto, senza interpretazione degli allagamenti – Figura in basso, con interpretazione degli allagamenti.

Alle precedenti figure comprese tra Figura 7.22 e Figura 7.27 si sono evidenziate, con riferimento ai tempi di ritorno di 5 e 20 anni, le differenze di livello che si instaurano lungo i collettori del sistema Acque Medie nel caso in cui vengano o non vengano interpretati i fenomeni di allagamento.

Come emerge chiaramente dall'andamento dei livelli riportati con riferimento ad un $Tr = 5$ anni, il considerare o meno gli sfiori laterali a simulare gli effetti di allagamento è assolutamente indifferente, in quanto l'entità degli allagamenti e quindi gli effetti di laminazione da essi prodotti risultano del tutto trascurabili. Così il funzionamento dell'area di espansione è esattamente il medesimo nei due casi ed è quello riportato alla Figura 7.28.

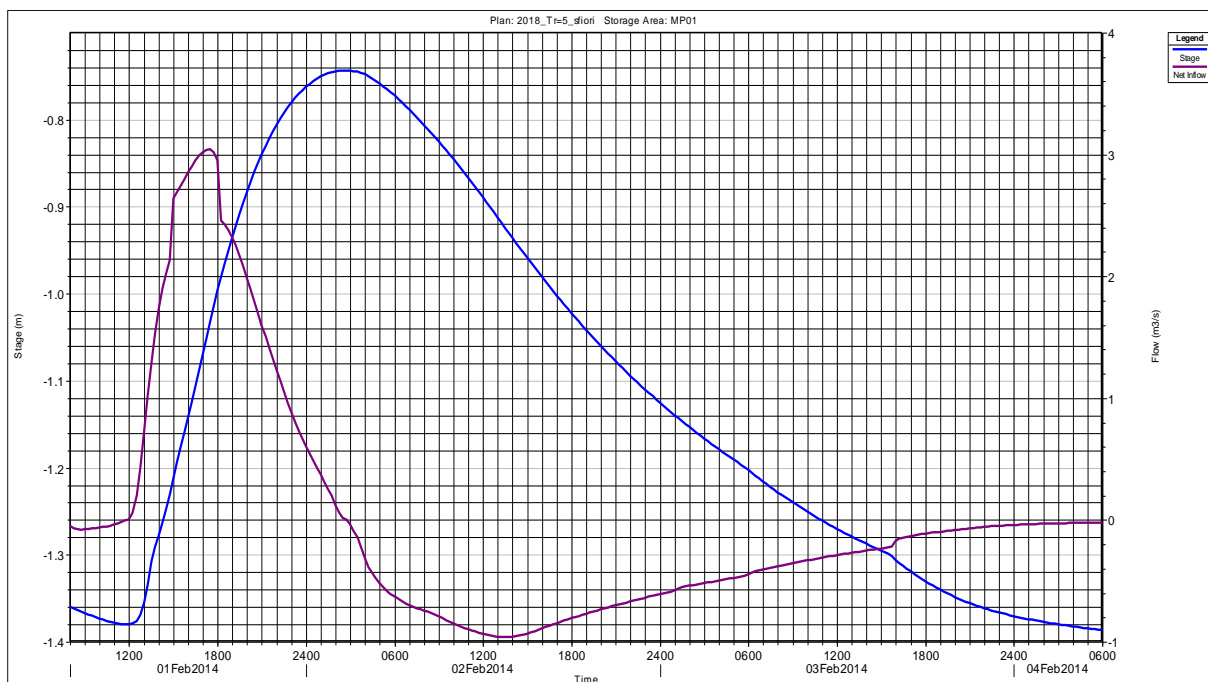


Figura 7.28. Livello e portata entrante nell'area di espansione con riferimento ad un evento meteorico caratterizzato da un $Tr = 5$ anni.

Il volume immagazzinato entro la cassa di espansione è determinabile a partire dalla curva volume-livello riportata alla Figura 7.19 ed in particolare, osservando come il livello raggiunga il suo massimo di $-0,76$ m s.m.m., si determina immediatamente un volume invasato di circa 83.000 m^3 .

L'effetto di laminazione dell'area di espansione è facilmente osservabile analizzando a confronto l'idrogramma a monte e a valle dell'opera di presa (Figura 7.29): quello che si nota è un importante abbattimento del picco dell'onda di piena valutabile in circa $2,5\text{-}3,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Il secondo picco che si osserva nell'idrogramma laminato, non è legato tanto ad una quota di imbocco troppo bassa bensì al processo di vuotamento della cassa di espansione che funzionando, esclusivamente a gravità, porta rapidamente ad una riduzione dei livelli

raggiunti al suo interno. È evidente che una eventuale manovra di chiusura delle paratoie all'imbocco può evitare o al più limitare questo secondo picco.

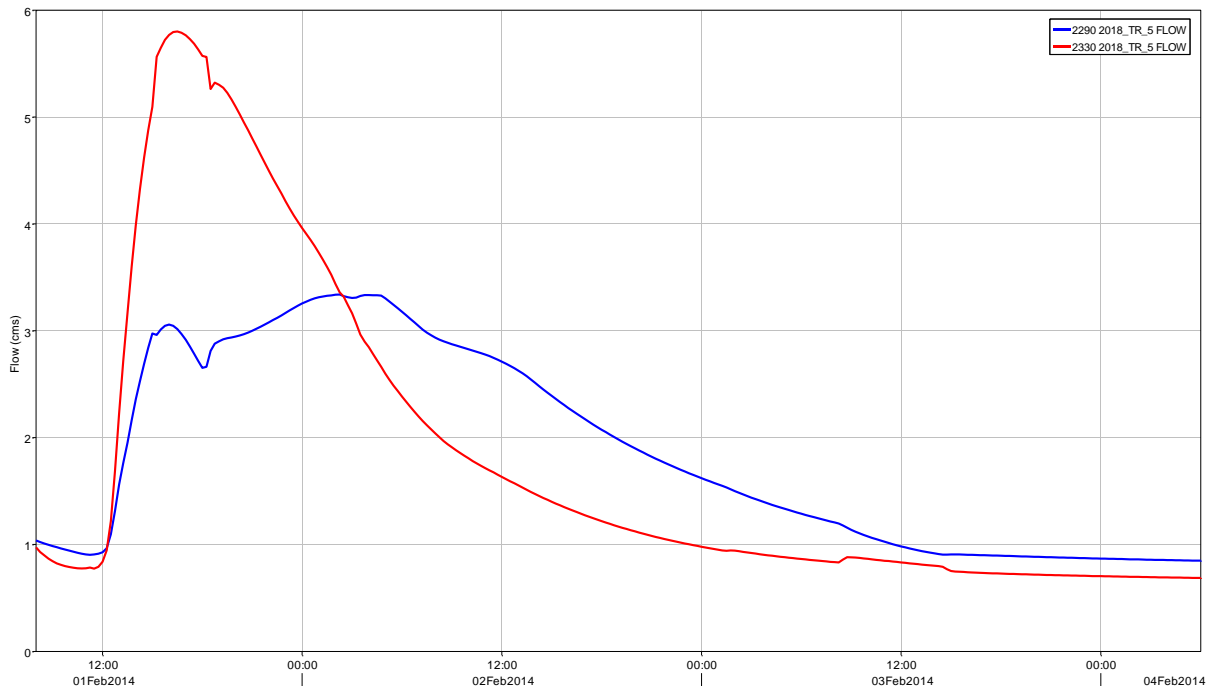


Figura 7.29. Idrogramma a monte e a valle dell'opera di presa dell'area di espansione MP.01 con riferimento ad un Tr = 5 anni.

Ragionando ora intorno ad un evento meteorico caratterizzata da un $Tr = 20$ anni, diverso è il comportamento che si registra a seconda che si considerino o meno gli effetti degli allagamenti.

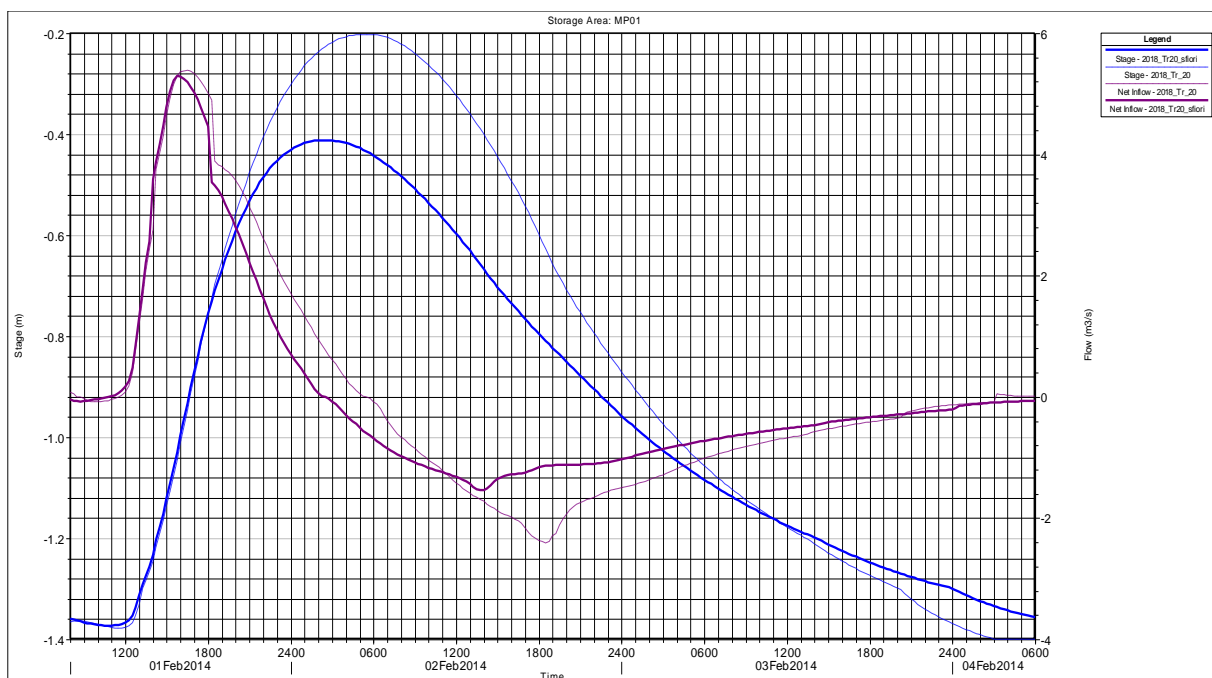


Figura 7.30. Livello e portata entrante nell'area di espansione con e senza interpretazione degli allagamenti e con riferimento ad un Tr = 20 anni.

Alla Figura 7.30 è rappresentato a confronto l'andamento della portata entrante e del livello idrico entro l'area di espansione con riferimento ai due diversi scenari con e senza allagamenti.

Osservando come il livello raggiunga il suo massimo di $-0,41$ e $-0,20$ m s.m.m. si determina immediatamente un volume invasato di circa 132.000 e 162.000 m³ rispettivamente nel caso in cui vengano o non vengano interpretati gli allagamenti diffusi a monte. È di tutta evidenza l'importanza di considerare in questo caso gli effetti di laminazione connessi agli allagamenti che si generano lungo la rete di monte nel sistema Acque Medie al fine di non sopravvalutare in misura considerevole i volumi invasati entro la cassa di espansione in progetto.

Altro aspetto importante da sottolineare che già emerge dalla Figura 7.30 e che con ancor maggior chiarezza ritroviamo alla successiva Figura 7.31, è la capacità dell'area di espansione di laminare il colmo dell'onda di piena nelle due configurazioni con e senza interpretazione degli allagamenti.

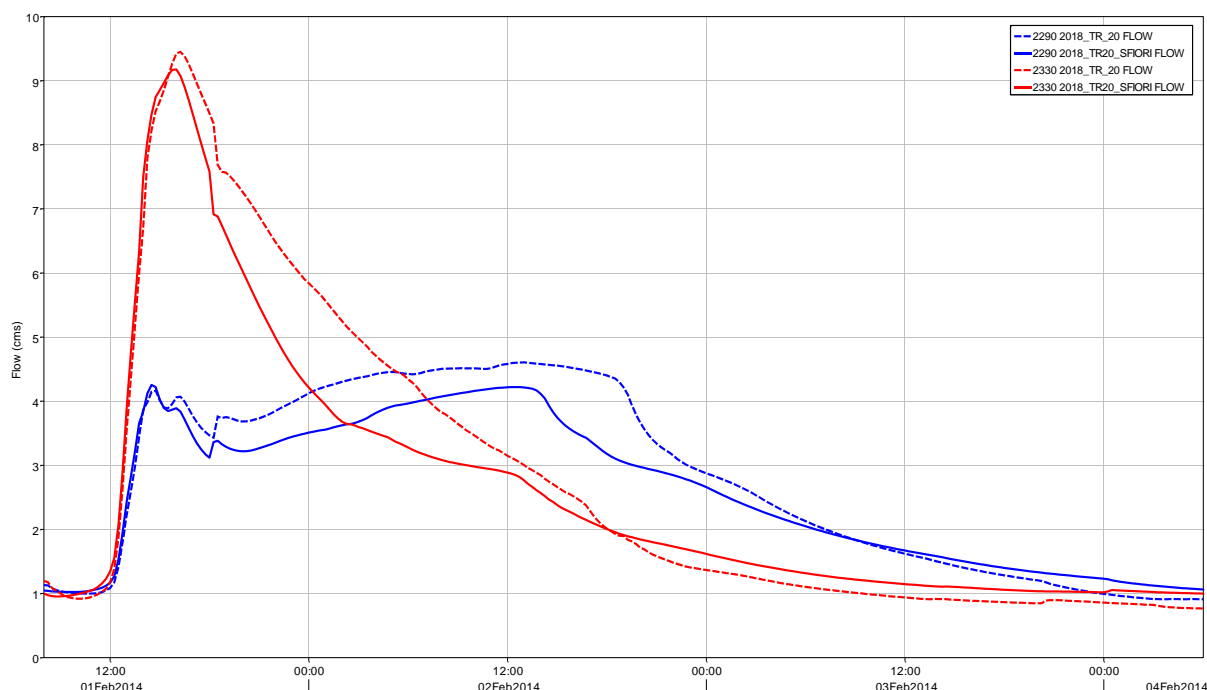


Figura 7.31. Idrogramma a monte e a valle dell'opera di presa dell'area di espansione MP.01 con e senza interpretazione degli allagamenti e con riferimento ad un $Tr = 20$ anni.

In particolare le risultanze dell'attività di modellazione portano a determinare in $4,5-5,0$ m³/s la capacità di abbattimento del colmo dell'onda di piena da parte dell'invaso MP.01. La motivazione del fatto che la simulazione degli allagamenti lungo la rete non ha effetto sul valore del picco di portata entrante nell'area di espansione è da ricercarsi nel particolare funzionamento dell'intero sistema del bacino Cattal.

L'effetto di laminazione degli allagamenti è ritardato rispetto al picco di portata in transito lungo la rete di collettori ed è legato ad una insufficienza del recapito, ovvero dell'impianto idrovoro posto alla sezione di chiusura del bacino. In particolare l'area di espansione con la maggior capacità di ricezione in quanto vuota, entra in funzione prima che si manifestino gli allagamenti ed in particolare, come evidenzia il grafico di Figura 7.31, nella fase crescente dell'idrogramma di piena che interessa il Collettore Acque Medie Cattal. Nella fase successiva, quando ci si trova già nella fase calante della piena, il sistema cessa il suo "funzionamento a rete" per insufficienza del recapito, i livelli tendono ad aumentare per effetto di un generalizzato rigurgito che interessa tutto il sistema che diviene di fatto esso stesso una cassa di espansione. È in questa fase che iniziano a manifestarsi i fenomeni di allagamento in corrispondenza delle insufficienze di rete così, il considerare gli effetti connessi a questi fenomeni non porta ad una sostanziale modifica nei valori delle portate laminate per effetto dell'invaso disponibile bensì causa esclusivamente una sovrastima dei livelli che si realizzano in corrispondenza della cassa e quindi dei volumi invasati in occasione dell'evento di piena.

In conclusione riportiamo alle successive Figura 7.34 e Figura 7.35 l'andamento dei livelli lungo la rete del sistema Acque Medie con riferimento ad un evento meteorico caratterizzato da un $Tr = 50$ anni esclusivamente nella configurazione che vede implementati gli sfiori a simulare gli effetti di allagamento.

Alle Figura 7.32 e Figura 7.33 si propongono rispettivamente l'andamento del livello e della portata entrante entro la cassa di espansione e l'idrogramma di piena a monte e a valle dell'opera di presa.

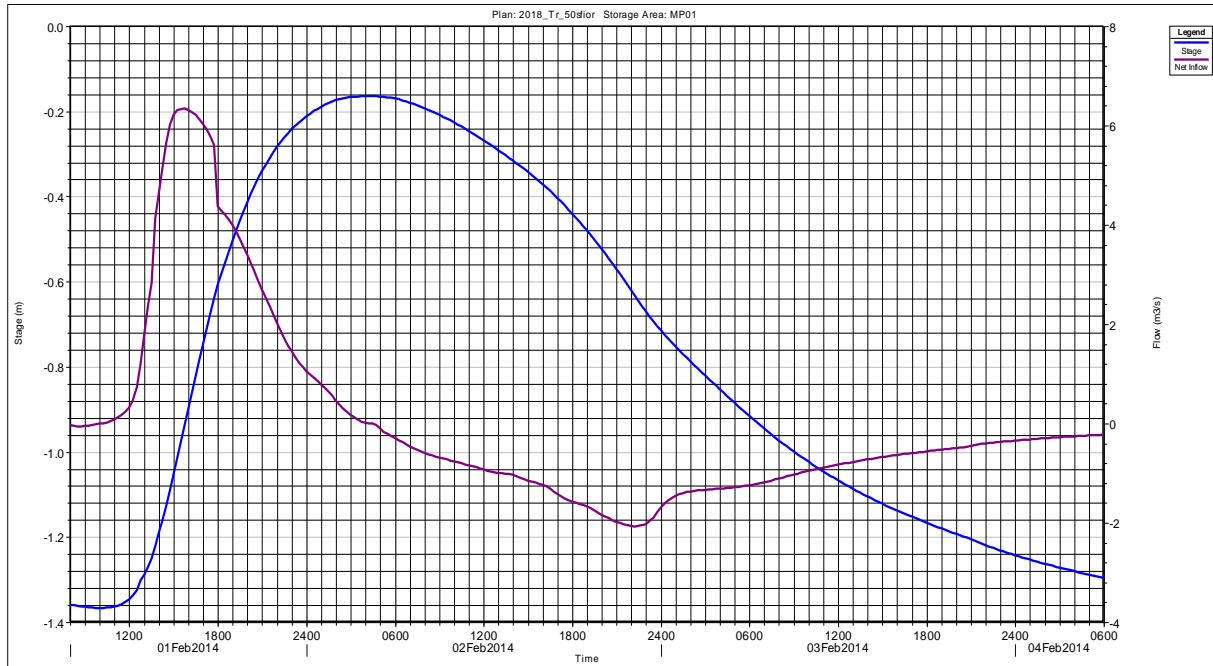


Figura 7.32. Livello e portata entrante nell'area di espansione con riferimento ad un $Tr = 50$ anni.

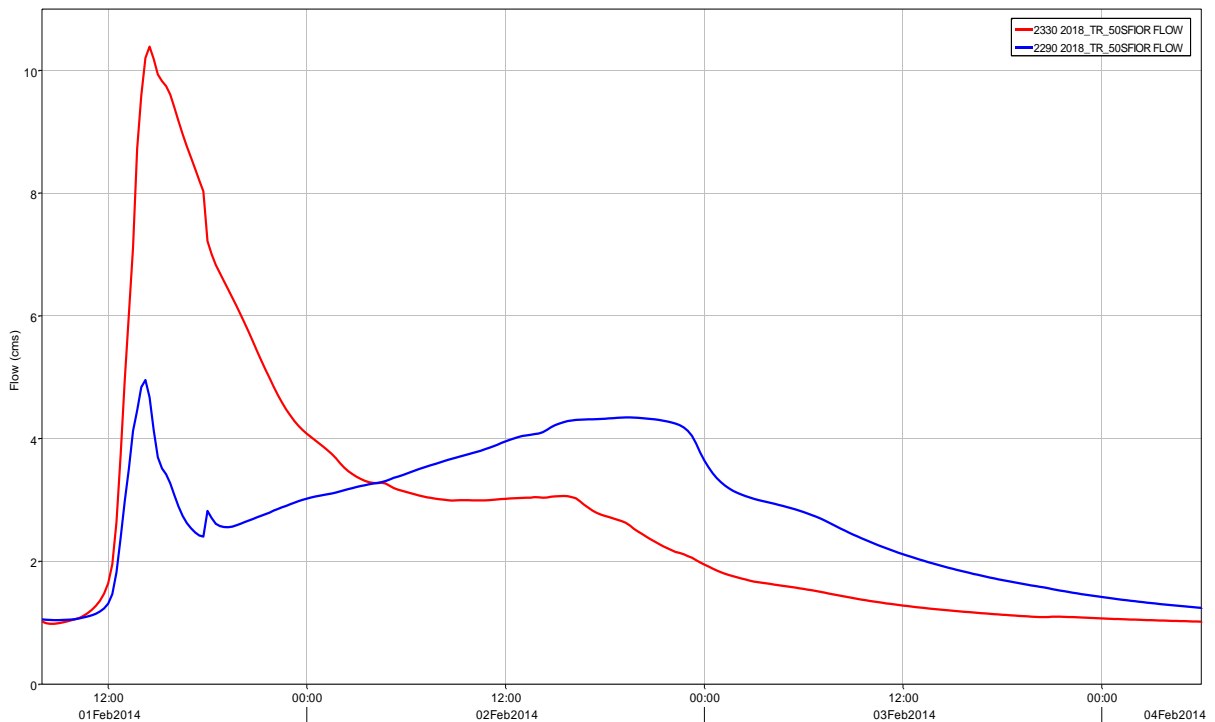


Figura 7.33. Idrogramma a monte e a valle dell'opera di presa dell'area di espansione MP.01 con riferimento ad un $Tr = 50$ anni.

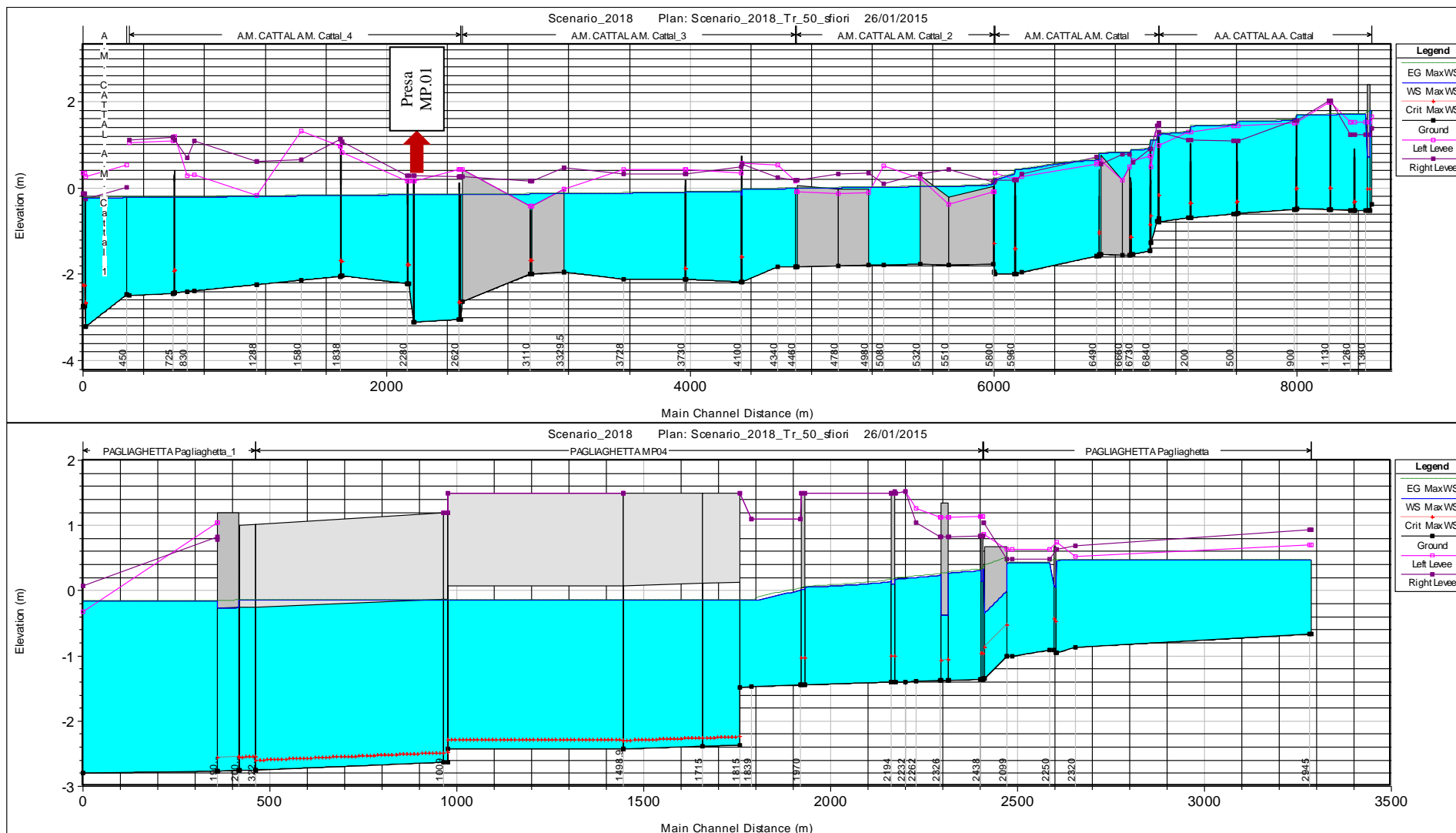


Figura 7.34. Involuppo dei livelli massimi lungo i collettori Acque Alte e Acque Medie Cattal fino all'idrovora, figura in alto e lungo il collettore Pagliaghetta dall'immissione nel collettore Cattal all'origine, figura in basso (Tr = 50 anni).

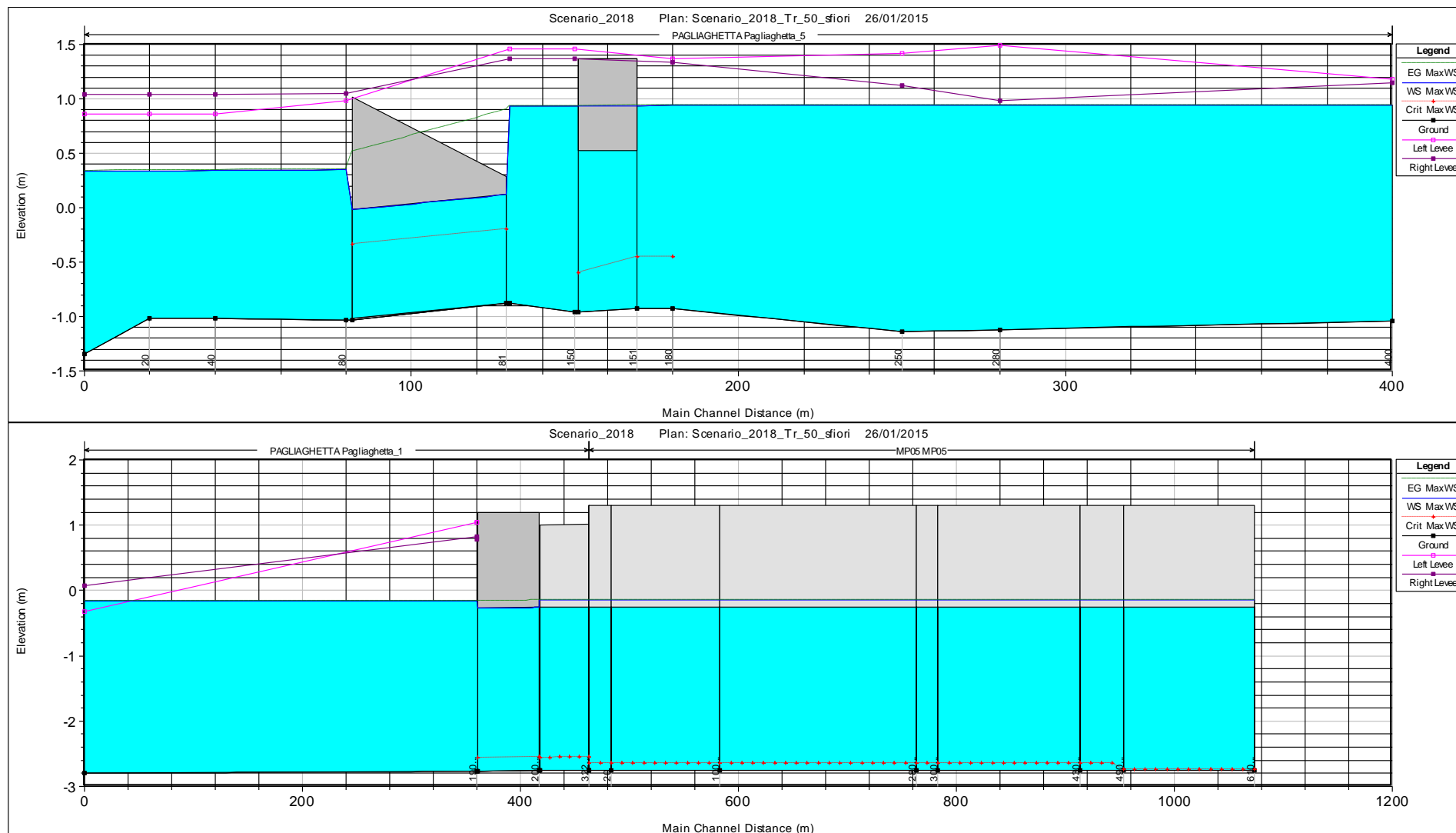


Figura 7.35. Involuppo dei livelli massimi lungo il Pagliaghetta ramo deviato, figura in alto e lungo il collettore MP.05 e tratto terminale del Pagliaghetta, figura in basso (Tr = 50 anni).

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio idraulico di cui alla presente relazione, così come detto in premessa, rappresenta solo una parte di un più ampio incarico riguardante l'attività di consulenza per la verifica e il dimensionamento di strutture idrauliche per l'allontanamento delle acque meteoriche, ovvero per l'analisi degli effetti che le stesse hanno nei confronti dell'intero bacino Cattal.

È proprio entro il bacino idrografico Cattal che ricade per intero il sedime dell'aeroporto Marco Polo di Venezia. Aeroporto che, sulla base degli strumenti di pianificazione disponibili, sta subendo e subirà nei prossimi anni importanti interventi infrastrutturali finalizzati al potenziamento dello scalo, già attualmente tra i più importanti e frequentati dell'intera penisola. Così come illustrato all'interno del Master Plan Idraulico redatto nel maggio del 2014, al quale si rimanda per un maggior dettaglio, gli interventi infrastrutturali pianificati o già in corso di realizzazione, non soltanto interferiscono con alcuni collettori del sistema di scolo del bacino Cattal, richiedendone la deviazione, ma sono tali da incrementare in misura spesso non trascurabile, la permeabilità dei suoli, ovvero la capacità degli stessi di trasformare gli afflussi meteorici in deflussi lungo la rete di collettamento. È proprio quest'ultimo aspetto che rischia di aggravare in misura considerevole la situazione idraulica del bacino Cattal già ad oggi particolarmente compromessa per inadeguatezza dei collettori e del sollevamento alla sezione di chiusura del bacino.

È proprio sulla scorta di queste considerazioni che ha preso avvio l'analisi di Master Plan Idraulico prima e del presente studio idraulico poi. In particolare lo studio idraulico si è posto come obiettivo quello di verificare la compatibilità, a scala di bacino e per i diversi transitori, dei diversi interventi infrastrutturali che interessassero direttamente, modificando le vie di deflusso delle acque, o indirettamente, modificando la permeabilità dei suoli, la risposta idrologico-idraulica del bacino.

Accanto a questo scopo l'analisi di cui alla presente trattazione si è posta anche come finalità quella di verificare la capacità, per dimensioni e funzionalità, degli interventi previsti in sede di MPI di incrementare la sicurezza idraulica del sedime aeroportuale.

I risultati proposti evidenziano nella sostanza il raggiungimento degli obiettivi di compatibilità nel transitorio degli interventi in sedime rispetto all'intero bacino Cattal da un lato e il progressivo miglioramento della sicurezza idraulica dall'altro.

In particolare, entrando nel dettaglio dei diversi scenari analizzati, si può affermare, sulla base delle risultanze della modellazione proposta, come già a partire dal 2016 con la

realizzazione degli interventi MP.03 – MP.04 – MP.05 unitamente al 6.03 (“doppia canna”) il sedime aeroportuale potrà raggiungere uno stato di sicurezza idraulica tale da scongiurare fenomeni di allagamento per eventi meteorici con tempo di ritorno pari a 5 anni, limitando gli stessi agli ambiti di minor valore ed interesse con riferimento ad eventi con una frequenza probabile di una volta ogni 20 anni. Il miglioramento della sicurezza idraulica con riferimento a questo scenario è legato ad un significativo aumento del volume d’invaso disponibile lungo la nuova rete, in grado di creare un significativo effetto di laminazione senza peggiorare la situazione di rischio con riferimento al comparto di bonifica. Il salto di fondo presente all’uscita dal sedime aeroportuale, a valle della SS Triestina funge infatti da sezione di controllo del moto evitando un incremento delle portate scaricate verso il collettore Acque Medie Cattal.

È a partire dal 2018, con la realizzazione dell’area di espansione MP.01, che non solo il bacino aeroportuale ma anche l’intero comparto delle Acque Medie Cattal vede un importante miglioramento della sicurezza idraulica grazie ad una generalizzata riduzione dei livelli idrometrici massimi. Così già a partire dal 2018 il sedime aeroportuale potrà raggiungere uno stato di sicurezza idraulica con un sufficiente franco per eventi meteorici caratterizzati da un tempo di ritorno di 50 anni.

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 2.1.	COMPARTI E SOTTOBACINI DEL BACINO CATTAL.	10
FIGURA 2.2.	VISTA DA MONTE DELL'IDROVORA CATTAL. A SINISTRA IL MANDRACCHIO DEL COMPARTO DELLE ACQUE BASSE, MENTRE IL COLLETTORE DELLE ACQUE MEDIE RAGGIUNGE L'IDROVORA DIETRO AL MURO IN PRIMO PIANO.	12
FIGURA 2.3.	VISTA DA MONTE DEL COLLETTORE DELLE ACQUE MEDIE CATTAL, IN DIREZIONE DELL'IDROVORA.	13
FIGURA 2.4.	MANUFATTO PARTITORE DI PORTATA POSTO LUNGO IL COLLETTORE ACQUE MEDIE CATTAL.	14
FIGURA 2.5.	VISTA DELLA PARATOIA DI COLLEGAMENTO DELLE ACQUE MEDIE CATTAL CON LE ACQUE BASSE CATTAL IN CORRISPONDENZA DELL'IDROVORA CATTAL.	14
FIGURA 3.1.	MANUFATTO PARTITORE DI PORTATA POSTO LUNGO IL COLLETTORE ACQUE MEDIE CATTAL.	18
FIGURA 3.2.	MANUFATTI E SEZIONI RILEVATE.	19
FIGURA 3.3.	CURVE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A TRE PARAMETRI. ZONA COSTIERA E LAGUNARE.	21
FIGURA 3.4.	IETOGRAMMI CHICAGO DI PROGETTO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	22
FIGURA 3.5.	SUDDIVISIONE IN SOTTOBACINI DEL BACINO CATTAL.	24
FIGURA 4.1.	SCHEMA CONCETTUALE DELL'ALGORITMO DEL MODELLO CONTINUO SMA (TRATTO DAL MANUALE TECNICO DI HEC – HMS).	28
FIGURA 4.2.	VALORI DI PRECIPITAZIONE EFFICACE IN FUNZIONE DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE E DEL PARAMETRO CN SECONDO IL METODO SCS.	32
FIGURA 4.3.	VALORI DI COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MEDIO IN FUNZIONE DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE E DEL PARAMETRO CN SECONDO IL METODO SCS.	33
FIGURA 4.4.	VALORI DI COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MARGINALE O ISTANTANEO IN FUNZIONE DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE E DEL PARAMETRO CN SECONDO IL METODO SCS.	33
FIGURA 4.5.	CORREZIONE DEL CN IN FUNZIONE DELLA PENDENZA.	35
FIGURA 5.1.	RETE IMPLEMENTATA NEL MODELLO HEC-RAS - STATO PREINTERVENTI.	43
FIGURA 5.2.	SEZIONE ESTRATTA DAL RILIEVO LIDAR E SEZIONE RILEVATA A CONFRONTO.	45
FIGURA 5.3.	SEZIONE IMPLEMANTATA NEL MODELLO HEC-RAS: INTERPOLAZIONE TRA SEZIONE LIDAR E SEZIONE DI RILIEVO.	45
FIGURA 5.4.	MODULO DI INSERIMENTO DEI PONTI E DEI TOMBOTTI IN HEC-RAS, CON LA FIGURA DEL PONTE POSTO IMMEDIATAMENTE A MONTE DELL'IDROVORA CATTAL SUL COLLETTORE "ACQUE MEDIE CATTAL".	46
FIGURA 6.1.	VISTA DELL'IMBOCCO DEL MANUFATTO DI ATTRAVERSAMENTO DELLA SR 14. NELL'IMMAGINE SOTTO SI RICONOSCE CHIARAMENTE IL SALTO DI FONDO E IL VOLUME MORTO DI ACQUA PRESENTE NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE. PER TALE MOTIVO, IN PIENA RISULTA ESTREMAMENTE FACILE L'INNALZAMENTO DEI LIVELLI FIN QUASI ALLA SOMMITÀ DELLA LUCE.	54
FIGURA 6.2.	PROFILO DI MAGRA DEL COLLETTORE PAGLIAGHETTA. SI OSSERVI IL RISTAGNO D'ACQUA NELLO SCATOLARE DEL PRIMO TRATTO E NELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA SR 14, IN CORRISPONDENZA DELL'ASCISSA 200.	55
FIGURA 6.3.	RETE DI COLLETTORI ENTRO IL SEDIME AEROPORTUALE IMPLEMENTATI NEL MODELLO IDRAULICO NELLA CONFIGURAZIONE IMPIEGATA PER LA CALIBRAZIONE.	56

FIGURA 6.4. PUNTI CRITICI RICONTRATI DURANTE IL RILIEVO DI CAMPAGNA.	58
FIGURA 6.5. RAPPRESENTAZIONE DELLE CLASSI DI USO DEL SUOLO NEL BACINO CATTAL. A PARTIRE DALLA CARTA DELLA COPERTURA DEI SUOLI DEL VENETO È STATA ESEGUITA UN'ANALISI DI DETTAGLIO ENTRO IL SEDIME AEROPORTUALE AL FINE DI SEGUIRE CON MAGGIOR FEDELITÀ GLI SVILUPPI FUTURI PREVISTI IN SEDE DI MASTER PLAN.	62
FIGURA 6.6. RAPPRESENTAZIONE DEL PARAMETRO CN – AMC II ALL'INTERNO DEL BACINO CATTAL CORRETTO IN BASE ALLA PENDENZA.	63
FIGURA 6.7. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “23 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA” PER I VALORI DI CN PRIMA E DOPO LA CORREZIONE. L'AREA IN GIALLO RAPPRESENTA IL VOLUME INVASATO LUNGO LA RETE MINORE E NON SCHEMATIZZATA NEL MODELLO IDRAULICO (150 M ³ /HA PER LE AREE NON URBANIZZARE E 70 M ³ /HA PER LE AREE URBANIZZARE).	65
FIGURA 6.8. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “01 – PAGLIAGA”.	67
FIGURA 6.9. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “02 – ALTINATE”.	67
FIGURA 6.10. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “03 – CÀ SOLARO”.	68
FIGURA 6.11. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “04 – ACQUE ALTE CATTAL”.	68
FIGURA 6.12. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “05 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	69
FIGURA 6.13. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “06 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	69
FIGURA 6.14. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “07 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	70
FIGURA 6.15. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “08 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	70
FIGURA 6.16. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “09 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	71
FIGURA 6.17. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “10 – ACQUE MEDIE CATTAL”.	71
FIGURA 6.18. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “11 – CANALETTA IRRIGUA”.	72
FIGURA 6.19. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “12 – FORNASOTTI”.	72
FIGURA 6.20. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “13 – COLLETTORE CATTAL”.	73
FIGURA 6.21. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “14 – ACQUE BASSE CATTAL”.	73
FIGURA 6.22. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “15 – ACQUE BASSE CATTAL”.	74
FIGURA 6.23. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “16 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	74
FIGURA 6.24. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “17 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	75
FIGURA 6.25. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “18 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	75
FIGURA 6.26. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “19 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	76
FIGURA 6.27. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “20 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	76
FIGURA 6.28. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “21 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	77
FIGURA 6.29. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “22 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	77
FIGURA 6.30. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “23 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”.	78
FIGURA 6.31. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SEDIME AEROPORTUALE PER I DIVERSI TR.	79
FIGURA 6.32. IDROGRAMMI DI PIENA GENERATI DAI COMPARTI ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL A MENO DEL CONTRIBUTO AEROPORTUALE PER I DIVERSI TR.	80
FIGURA 6.33. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE PAGLIAGHETTA – FIGURA IN BASSO, COLLETTORE ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL FINO ALL'IDROVORA.	83
FIGURA 6.34. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE ACQUE BASSE CATTAL FINO ALL'IDROVORA – FIGURA IN BASSO, COLLETTORE CATTAL.	84
FIGURA 6.35. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI. FIGURA IN ALTO A SX, CANALETTA IRRIGUA – FIGURA IN ALTO A DX, COLLETTORE FORNASOTTI – FIGURA IN BASSO, COLLETTORE CATTAL.	85

FIGURA 7.1. TRATTI INSUFFICIENTI DI COLLETTORE PAGLIAGHETTA IN VIA BONMARTINI CHE VERRANNO BYPASSATI.	88
FIGURA 7.2. SEZIONE DELLA DOPPIA CANNA PRESSO IL MANUFATTO DI SFIORO TRA LA CANNA RISERVATA ALLA PRIMA PIOGGIA (A SINISTRA) E QUELLA PER LE PORTATE DI PIENA (A DESTRA).	89
FIGURA 7.3. PIANTA DEL MANUFATTO DI SEPARAZIONE TRA LA PRIMA E LA SECONDA PIOGGIA.	89
FIGURA 7.4. MANUFATTO DI SOLLEVAMENTO E TRATTAMENTO DELLE PORTATE DELLA CANNA FINALIZZATA ALLA PRIMA PIOGGIA.	90
FIGURA 7.5. SCENARIO 1– CONFIGURAZIONE AL 2016. INTERVENTI IN CORSO DI REALIZZAZIONE O PROGETTAZIONE E AREE IN TRASFORMAZIONE.	94
FIGURA 7.6. RAPPRESENTAZIONE DEL PARAMETRO CN – AMC II ALL’INTERNO DEL BACINO CATTAL CORRETTO IN BASE ALLA PENDENZA. CONFRONTO TRA LA CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E LA CONFIGURAZIONE AL 2016.	97
FIGURA 7.7. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “17 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	98
FIGURA 7.8. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “19 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	98
FIGURA 7.9. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “20 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	99
FIGURA 7.10. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SOTTOBACINO “21 – COLLETTORE PAGLIAGHETTA”. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	99
FIGURA 7.11. IDROGRAMMI DI PIENA IN USCITA DAL SEDIME AEROPORTUALE PER I DIVERSI TR. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO.	100
FIGURA 7.12. COLLETTORI E OPERE IDRAULICHE IMPLEMENTATE NEL MODELLO HEC-RAS. SCENARIO 0 – CONFIGURAZIONE PREINTERVENTI E SCENARIO 1 – CONFIGURAZIONE AL 2016 A CONFRONTO.	101
FIGURA 7.13. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI NEI COLLETTORI DEL SEDIME AEROPORTUALE – TR = 5 ANNI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL’IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL’ORIGINE – FIGURA IN BASSO A SINISTRA, PAGLIAGHETTA RAMO DEVIATO – FIGURA IN BASSO A DESTRA, COLLETTORE MP05.	102
FIGURA 7.14. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI NEI COLLETTORI DEL SEDIME AEROPORTUALE – TR = 20 ANNI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL’IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL’ORIGINE – FIGURA IN BASSO A SINISTRA, PAGLIAGHETTA RAMO DEVIATO – FIGURA IN BASSO A DESTRA, COLLETTORE MP05.	103
FIGURA 7.15. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI NEI COLLETTORI DEL SEDIME AEROPORTUALE – TR = 50 ANNI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL’IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL’ORIGINE – FIGURA IN BASSO A SINISTRA, PAGLIAGHETTA RAMO DEVIATO – FIGURA IN BASSO A DESTRA, COLLETTORE MP05.	104
FIGURA 7.16. INTERVENTI IMPLEMENTATI NEL MODELLO NELLO SCENARIO 2 – CONFIGURAZIONE AL 2018.	107

FIGURA 7.17. AREA DI ESPANSIONE SISTEMA ACQUE MEDIE CATTAL.	108
FIGURA 7.18. DETTAGLI OPERA DI PRESA DELL'AREA DI ESPANSIONE MP.01 IN PROGETTO.	109
FIGURA 7.19. AREA DI ESPANSIONE SISTEMA ACQUE MEDIE CATTAL. CURVA LIVELLO - VOLUME.	109
FIGURA 7.20. IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO HEC-RAS DEGLI INTERVENTI INFRASTRUTTURALI AL 2018. SCENARIO 2 – CONFIGURAZIONE AL 2018.	111
FIGURA 7.21. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI – TR = 20 ANNI. FIGURA IN ALTO, COLLETTORE ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL FINO ALL'IDROVORA – FIGURA IN BASSO, COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL'IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL'ORIGINE.	112
FIGURA 7.22. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO I COLLETTORI ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL FINO ALL'IDROVORA – TR = 5 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	115
FIGURA 7.23. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO IL COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL'IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL'ORIGINE – TR = 5 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	116
FIGURA 7.24. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO IL COLLETTORE MP.05 E TRATTO TERMINALE DEL PAGLIAGHETTA – TR = 5 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	117
FIGURA 7.25. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO I COLLETTORI ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL FINO ALL'IDROVORA – TR = 20 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	118
FIGURA 7.26. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO IL COLLETTORE PAGLIAGHETTA DALL'IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL'ORIGINE – TR = 20 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	119
FIGURA 7.27. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO IL COLLETTORE MP.05 E TRATTO TERMINALE DEL PAGLIAGHETTA – TR = 20 ANNI. FIGURA IN ALTO, SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI – FIGURA IN BASSO, CON INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI.	120
FIGURA 7.28. LIVELLO E PORTATA ENTRANTE NELL'AREA DI ESPANSIONE CON RIFERIMENTO AD UN EVENTO METEORICO CARATTERIZZATO DA UN TR = 5 ANNI.	121
FIGURA 7.29. IDROGRAMMA A MONTE E A VALLE DELL'OPERA DI PRESA DELL'AREA DI ESPANSIONE MP.01 CON RIFERIMENTO AD UN TR = 5 ANNI.	122
FIGURA 7.30. LIVELLO E PORTATA ENTRANTE NELL'AREA DI ESPANSIONE CON E SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI E CON RIFERIMENTO AD UN TR = 20 ANNI.	122
FIGURA 7.31. IDROGRAMMA A MONTE E A VALLE DELL'OPERA DI PRESA DELL'AREA DI ESPANSIONE MP.01 CON E SENZA INTERPRETAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI E CON RIFERIMENTO AD UN TR = 20 ANNI.	123
FIGURA 7.32. LIVELLO E PORTATA ENTRANTE NELL'AREA DI ESPANSIONE CON RIFERIMENTO AD UN TR = 50 ANNI.	125
FIGURA 7.33. IDROGRAMMA A MONTE E A VALLE DELL'OPERA DI PRESA DELL'AREA DI ESPANSIONE MP.01 CON RIFERIMENTO AD UN TR = 50 ANNI.	125
FIGURA 7.34. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO I COLLETTORI ACQUE ALTE E ACQUE MEDIE CATTAL FINO ALL'IDROVORA, FIGURA IN ALTO E LUNGO IL COLLETTORE PAGLIAGHETTA	

DALL'IMMISSIONE NEL COLLETTORE CATTAL ALL'ORIGINE, FIGURA IN BASSO (TR = 50 ANNI). 126

FIGURA 7.35. INVILUPPO DEI LIVELLI MASSIMI LUNGO IL PAGLIAGHETTA RAMO DEVIATO, FIGURA IN ALTO E LUNGO IL COLLETTORE MP.05 E TRATTO TERMINALE DEL PAGLIAGHETTA, FIGURA IN BASSO (TR = 50 ANNI). 127